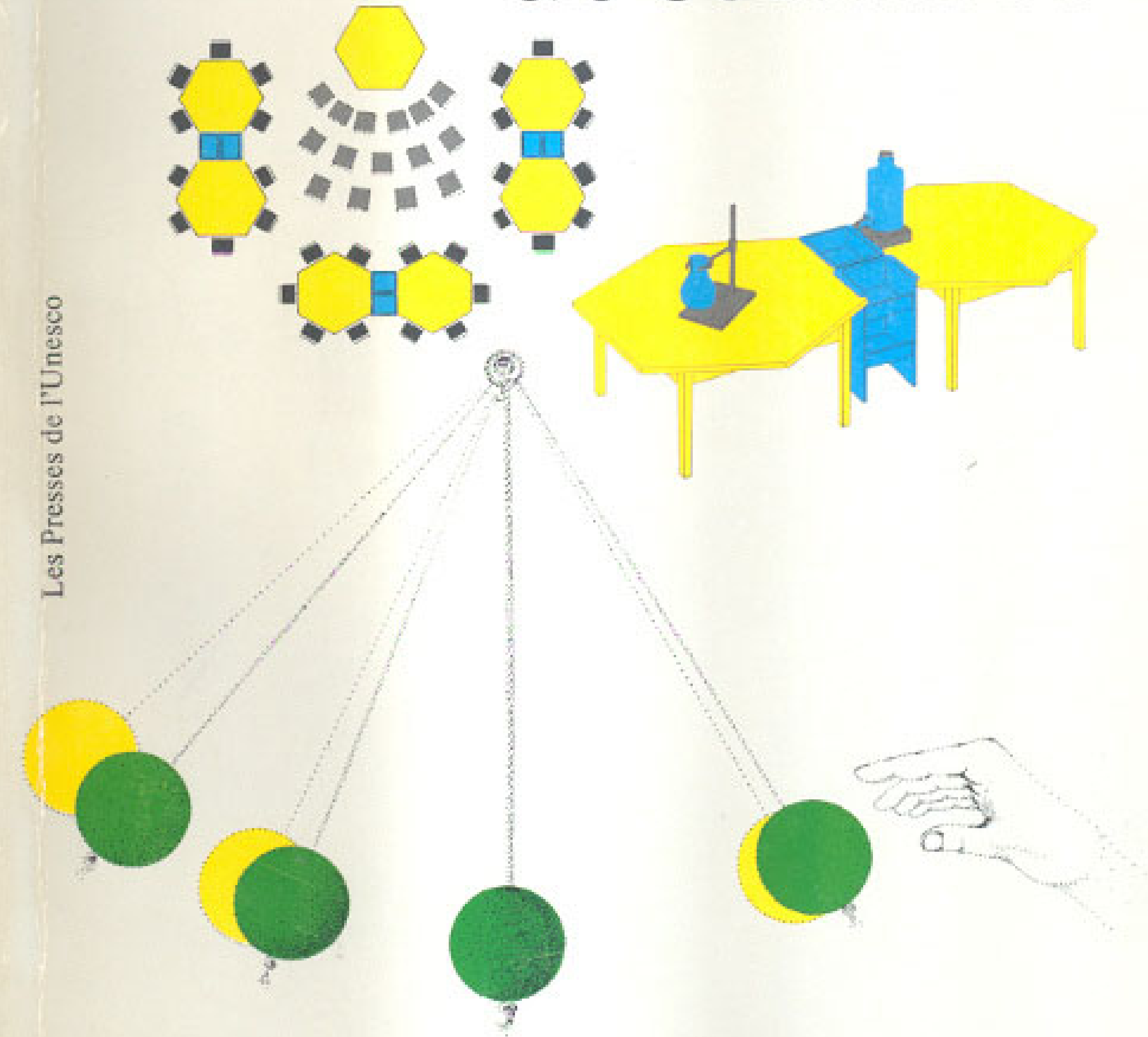
Guide de l'Unesco pour les professeurs de sciences



Les Presses de l'Unesco

Guide de l'Unesco pour les professeurs de sciences

Guide de l'Unesco pour les professeurs de sciences

Les Presses de l'Unesco

Publié en 1981 par l'Organisation
des Nations Unies pour l'éducation,
la science et la culture,
7, place de Fontenoy, 75700 Paris
Imprimé par les Presses centrales de Lausanne

ISBN 92-3-201666-4
Edition espagnole: 92-3-301666-8
Coédition anglaise: Unesco (Paris)/Heinemann (Londres)
92-3-101666-0 (Unesco)
0-435-57970-3 (Heinemann)

Préface

La réalisation du *Guide de l'Unesco pour les professeurs de sciences* s'inscrit dans le cadre du programme entrepris par l'Unesco pour améliorer l'enseignement des sciences par la publication d'ouvrages à l'usage des enseignants. Ce guide du maître est destiné à compléter le *Nouveau manuel de l'Unesco pour l'enseignement des sciences,* paru en 1974. Le principe et les modalités de sa publication ont été décidés par la Conférence générale de l'Unesco lors de sa dix-huitième session en 1974.

Ce guide s'adresse essentiellement aux professeurs de sciences de la fin du primaire et du premier cycle du secondaire, mais il devrait aussi rendre service aux administrateurs de l'éducation, aux responsables de l'élaboration des programmes scolaires et aux professeurs d'école normale concernés par l'enseignement des sciences dans le primaire et le secondaire.

La rédaction de l'ouvrage a été coordonnée par le professeur J. D. Lockard, directeur de l'International Clearing House on Science and Mathematics Education [Centre international de documentation sur l'enseignement des sciences et des mathématiques], University of Maryland, États-Unis d'Amérique. Les quatre coauteurs sont M. N. K. Lowe, ancien expert de l'Unesco pour l'équipement scientifique scolaire en Afghanistan ; le professeur R. E. Pearson, expert de l'Unesco pour l'enseignement de la chimie, University of Cape Coast, Ghana; Mme J. Reay, University of the West Indies, Trinité-et-Tobago, et le professeur H. Thier, University of California, Berkeley, États-Unis d'Amérique.

Les opinions exprimées dans cet ouvrage engagent la seule responsabilité du coordonnateur et des auteurs, et ne représentent pas nécessairement le point de vue de l'Unesco.

Remerciements

Nous avons utilisé dans ce guide un grand nombre d'idées et de suggestions utiles qui nous ont été adressées, à travers la Fédération internationale des associations de professeurs de sciences (FIAPS), par des professeurs qui exercent leurs activités dans plus de vingt pays. Nous remercions le secrétaire de la FIAPS, D. Chisman, du travail qu'il a accompli en recueillant et en compilant toutes ces suggestions. Nous remercions particulièrement l'Association for Science Education [Association pour l'enseignement des sciences], Royaume-Uni, pour la contribution qu'elle a apportée par l'entremise de son secrétaire général, B. Atwood, et le groupe de travail qu'elle a constitué pour collaborer à ce guide, sous la présidence de D. Bennett. Nous exprimons aussi notre gratitude au Comité pour l'enseignement des sciences du Conseil international des unions scientifiques (CIUS), qui a également fourni un précieux concours.

Les idées fournies par les projets de programmes d'enseignement des sciences de nombreux pays, tels ceux patronnés par le Schools Council [Conseil scolaire] au Royaume-Uni et par la National Science Foundation [Fondation nationale des sciences] aux États-Unis, et ceux élaborés au Science Teaching Center [Centre d'enseignement des sciences] de l'Université des Philippines ainsi qu'au National Center for Educational Research and Training [Centre national de la recherche et de la formation pédagogiques], New Delhi, Inde, ont été extrêmement fructueuses, et nous tenons à remercier tous ces organismes qui ont été pour nous des sources précieuses.

Michael Shayer a, le premier, élaboré un modèle conceptuel pour l'analyse du contenu des cours de science. Certaines parties du chapitre 2, et notamment le Guide for Diagnosis and Design of Learning Experiences [Guide pour le diagnostic et la conception d'expériences d'apprentissage], ont été influencées par ses travaux et par des discussions avec lui, aussi lui exprimons-nous ici notre gratitude.

Les illustrations et les réponses figurant dans le chapitre 4 sont reproduites avec l'autorisation de la Royal Society for the Prevention of

Accidents [Société royale pour la prévention des accidents], Royaume-Uni, qui a préparé, en collaboration avec le Science Teacher Education Project (STEP) [Projet d'éducation des professeurs de science], ces documents qui constituent une nouvelle approche de la formation des enseignants et suscitent un intérêt considérable dans le monde entier.

Nous avons obtenu l'autorisation de reproduire les documents suivants : *Peanuts*, bandes dessinées de United Press International, New York ; *Sesame Street*, bandes dessinées du Children's Television Workshop [Atelier de télévision pour les enfants], États-Unis ; des extraits de «behavioural objectives» (objectifs de comportement) (p. 207) du Science Curriculum Improvement Study (SCIS) [Étude pour l'amélioration des programmes de science], Lawrence Hall of Science, University of California, États-Unis ; des extraits tirés des objectifs (p. 210) de l'Australian Science Education Project (ASEP) [Projet australien d'enseignement des sciences] du Curriculum Development Centre [Centre pour l'élaboration des programmes de science], P.O. Box 632, A.C.T. Australia 2603. L'illustration et la description des laboratoires improvisés (p. 133) sont reproduites avec l'autorisation de l'Asian Institute for School Building Research [Institut asiatique pour la recherche sur les constructions scolaires] ; «Testing Houses for Strenght» (Vérifions la solidité des maisons) (p. 144) est emprunté à l'African Primary Science Programme [Programme scientifique élémentaire pour l'Afrique], devenu maintenant le Science Education Programme for Africa [Programme d'enseignement des sciences pour l'Afrique].

Table des matières

Introduction: Quel est l'objet de ce livre?

Dès les origines, l'homme a étudié son environnement pour tenter d'améliorer ses conditions d'existence. Il commença par observer, comme nous le faisons encore aujourd'hui, puis il entreprit de recueillir certaines informations et de les appliquer à sa vie quotidienne.

Aujourd'hui, la science a quelque peu gagné en complexité. Nos moyens d'observation se sont formidablement accrus grâce au développement des instruments modernes, depuis ceux qui nous permettent de voir des particules infinitésimales grossies des millions de fois, jusqu'à ceux qui nous permettent d'observer les étoiles les plus lointaines, aux frontières de l'univers connu. Les processus de collecte des données se sont, eux aussi, incroyablement perfectionnés. Outre les moyens très rapides dont nous disposons pour enregistrer l'information, le recours aux ordinateurs nous permet d'avoir accès à l'information en une fraction de seconde. Beaucoup d'entre nous, cependant, n'ont pas pour l'instant la possibilité d'utiliser les toutes dernières inventions de la science. Il nous faut donc travailler à partir des éléments qui, dans notre environnement immédiat, sont appelés à avoir une incidence sur notre vie et celle de ceux qui nous entourent.

Le but du présent ouvrage est de rendre l'enseignement et l'apprentissage des sciences aussi efficaces que possible. Étant donné qu'il n'existe pas de méthode parfaite pour enseigner les sciences, cette publication ne prétend nullement représenter le *nec plus ultra* en matière d'enseignement scientifique. Il appartient aux professeurs de rechercher sans cesse les méthodes les plus adaptées à leurs élèves et de se documenter de manière aussi diversifiée et approfondie que possible. On aimerait néanmoins que ce guide puisse servir d'ouvrage de base, de point de départ d'une réflexion. Fruit d'une collaboration entre auteurs venus d'horizons géographiques fort divers, il propose un panorama très large des problèmes posés par l'enseignement des sciences. Il a pour objectif premier de compléter le R*ouveau manuel de l'Unesco pour l'enseignement des sciences*[1], dont le choix d'expériences scientifiques

1. *Nouveau manuel de l'Unesco pour l'enseignement des sciences.* Paris, Unesco, 1974.

simples s'est avéré jusqu'ici d'une grande utilité pour de nombreux professeurs de sciences. Tout en étant conçu pour avoir des applications très pratiques en classe, le présent livre du maître aborde également des questions de doctrine. Enfin, du fait de la longue expérience positive dont bénéficient ses auteurs en matière d'enseignement des sciences, il devrait se situer dans une perspective internationale enrichissante et totalement inédite. Il est essentiel qu'à tous les niveaux de l'enseignement des sciences, la pensée pédagogique créatrice s'attache à définir les situations d'apprentissage les plus stimulantes et les plus efficaces pour les élèves. Ce guide est donc conçu à l'usage des professeurs et des futurs maîtres des différents niveaux scolaires, si diverses que soient les situations d'apprentissage scientifique. Il vise à améliorer l'enseignement quotidien des sciences en abordant un grand nombre de sujets ayant trait à l'élève et à la relation pédagogique.

Le *Guide de l'Unesco pour les professeurs de sciences* a été conçu comme le complément au *Nouveau manuel de l'Unesco pour l'enseignement des sciences.* Ce dernier était destiné à donner au professeur des idées pour la mise en œuvre d'activités, de recherches et d'expériences scientifiques simples, réalisables par les élèves eux-mêmes, et pour la réalisation d'instruments scientifiques simples à l'aide des matériaux disponibles sur place ou dans la région. Le *Guide,* quant à lui, entend aider les professeurs de sciences à élaborer ou à modifier leur propre conception de la science et de l'enseignement scientifique. Faisant le point sur un certain nombre de problèmes posés par l'enseignement des sciences, il traite entre autres de ce que nous savons des modalités de l'apprentissage scientifique chez l'enfant et de son développement intellectuel et affectif, et explique pourquoi l'enfant doit affronter un apprentissage scientifique. Après cet aperçu à la fois théorique et pratique, l'ouvrage expose les différentes approches de contenu et de méthode auxquelles le professeur de sciences peut recourir en fonction de situations pédagogiques données. Le *Guide* analyse les principales formes d'évaluation de l'enseignement et propose des méthodes débouchant sur des cours de sciences plus individualisés. Étant donné que l'apprentissage doit s'effectuer au sein d'environnements de types différents, la seconde partie de l'ouvrage traite de façon extrêmement détaillée des installations, instruments et matériaux les mieux adaptés à l'enseignement des sciences. La sécurité des élèves étant également une préoccupation essentielle de l'enseignant, le guide fournit des suggestions pour apprendre aux élèves à se comporter avec soin et prudence au laboratoire. Enfin, puisqu'il semble qu'une pluralité d'approches permette de mieux répondre aux besoins différenciés des élèves, on y a inclus certaines considérations sur le matériel audio-visuel, sur sa conception et sur son emploi comme auxiliaire pédagogique courant.

Les enseignants sont diversement préparés à leurs tâches pédagogiques, aussi ont-ils tous besoin un jour ou l'autre de savoir où trouver une aide supplémentaire. Toutefois, plutôt que de submerger le lecteur sous le poids des références bibliographiques en cours de chapitre, on a préféré ajouter à la suite de chaque chapitre une bibliographie annotée correspondant à tous les thèmes abordés.

Il s'agit ici, en définitive, de proposer aux enseignants un certain nombre de démarches pédagogiques possibles et de les aider à choisir celle qui convient le mieux à chacune de leurs classes.

Compte tenu de l'expérience acquise avec le *Manuel de l'Unesco,* il est permis de supposer que le *Guide de l'Unesco* trouvera sa principale application dans le cadre de la préparation des futurs professeurs, et cela aussi bien au niveau des écoles normales que de la filière universitaire. De par sa conception, le *Guide* est adapté à divers niveaux de formation, et il ne nécessite pas le recours au laboratoire ou à un appareillage spécialisé. Il paraît être une lecture particulièrement indiquée au début des cycles de formation initiale de professeurs de sciences. A ce niveau le *Guide* constitue une bonne introduction à l'enseignement en général et à l'enseignement des sciences en particulier.

Dans la mesure où il convient à différents types et différents niveaux de formation, le *Guide* devrait également trouver son utilité dans le cadre de la formation des enseignants en cours d'emploi. La confrontation avec la réalité de l'expérience pédagogique amène en effet les professeurs de sciences à envisager leur enseignement sous un jour entièrement nouveau. A ce stade, le *Guide* leur permettra de pousser plus loin la réflexion et d'avoir des discussions en profondeur. On voit donc qu'il y a de solides raisons pour que les professeurs l'utilisent aussi bien avant de commencer à exercer qu'une fois qu'ils auront acquis une certaine expérience pratique.

S'il est vrai que l'enseignant a normalement autour de lui des collègues avec qui dialoguer, un guide comme celui-ci peut se révéler indispensable pour le professeur de sciences isolé, qui n'a pas la possibilité de dialoguer avec un collègue professant dans la même discipline. La présente publication pourra donc trouver son utilité, tant comme ouvrage de référence que comme stimulant dans les contacts quotidiens avec les élèves. Comme le contenu informatif du *Guide* n'est lié à aucun niveau éducatif particulier, l'ouvrage peut être employé avec profit par les professeurs de sciences tant au niveau préscolaire et élémentaire que secondaire.

Étant donné le caractère assez théorique de certains des thèmes de réflexion abordés, que des expériences pédagogiques approfondies contribueraient à éclairer, le *Guide de l'Unesco* pourrait également constituer une bonne base de travail pour des ateliers de recherches sur

l'enseignement des sciences. Un certain nombre de sujets évoqués pourraient faire l'objet de discussions de groupe et d'exposés plus poussés par des spécialistes. Les exemples employés tout au long de l'ouvrage donnent une diversité de points de vue sur les problèmes abordés de sorte que ceux-ci pourraient fournir d'excellents thèmes de débat pour un séminaire. Lors de ces sessions, il pourrait être intéressant d'organiser des psychodrames dans lesquels les professeurs adopteraient le point de vue du proviseur, de l'inspecteur et d'autres responsables, aussi bien que celui des élèves et de leurs parents. Cette confrontation aurait un résultat bénéfique, dans la mesure où elle déboucherait sur une meilleure compréhension des buts de l'enseignement des sciences, et de la manière dont le travail de classe peut contribuer à leur réalisation.

Le *Guide de l'Unesco,* prenant en compte un vaste éventail de points de vue, voudrait proposer aux enseignants un certain nombre d'options possibles et des modèles pour divers types de situations. On aimerait que les professeurs expérimentent les méthodes et les techniques suggérées et qu'ils apprennent à distinguer celles qui leur conviennent le mieux. Il serait logique qu'en échange ils partagent leur expérience avec leurs collègues à l'échelon local aussi bien que régional. Cela pourrait s'effectuer dans le cadre des associations de professeurs de sciences ou des autres organismes de formation professionnelle dont ils font partie.

Lorsqu'on publie un ouvrage, on espère toujours qu'il sera suffisamment bien accueilli pour nécessiter une seconde édition, et qu'il sera alors possible de rectifier les inexactitudes et les erreurs, et d'inclure dans la publication les éléments d'information nouveaux ou involontairement omis dans l'édition précédente. Nos lecteurs sont donc vivement encouragés à faire parvenir leurs remarques et leurs suggestions aux auteurs.

Première partie

Chapitre 1
Pourquoi enseigner la science?

L'historien lord Bullock, qui est aussi directeur de St Catherine's College à Oxford, a déclaré que la science représente «le plus grand accomplissement intellectuel et culturel de l'homme moderne». La science est pour lui «un processus ouvert dans lequel l'imagination, l'hypothèse, la critique et la controverse, sans parler de la passion et de l'erreur, ont un rôle à jouer»; elle n'a rien à voir avec «ce système fermé et dogmatique de lois immuables cher aux positivistes du XIXe siècle». Bullock range donc la science parmi les humanités, il y voit une discipline profondément préoccupée par l'homme et la société, et offrant un champ aussi vaste à l'imagination et à la compassion qu'à l'observation et à l'analyse, [1][1].

Si cette opinion était universellement partagée, la question que pose ce chapitre n'aurait pas de raison d'être. Aussi faut-il se demander si elle est justifiée.

Qu'est-ce que la science?

La science, a-t-on dit, est le produit de l'activité du chercheur.

La nature est une réalité vaste, complexe et intéressante. Convaincu qu'elle est en outre intelligible, le chercheur se comporte envers elle en esprit curieux, attaché à résoudre ses énigmes. Tel un détective recherchant des indices et bâtissant sur eux sa théorie, il tente de donner un sens à la complexité apparente en établissant un rapport d'une observation à l'autre. Ce rapport est ensuite confronté à d'autres rapports, cet ensemble de relations constituant progressivement une structure de plus en plus vaste jusqu'au jour où le savant parvient à élaborer des théories «géantes» comme celle de la relativité ou de la mécanique quantique. Une fois qu'on détient la clef du code, on peut l'utiliser pour résoudre toute une série de problèmes.

1. Les chiffres entre crochets renvoient aux références en fin de chapitre.

Les recherches de Mendel sur la génétique, par exemple, ont débouché sur des généralisations qui devaient permettre à Crick et à Watson d'établir par la suite la structure de la molécule ADN. Ainsi se sont ordonnées les pièces du puzzle qui ont, aujourd'hui, rendu possible le «génie génétique». Tout profane un tant soit peu instruit a maintenant des notions sur la transmission de certains caractères héréditaires.

A l'école, nous devrions entraîner les enfants aussi loin que possible dans cette quête du sens, car, comme le déclarait le doyen du Clare College de Cambridge, lui-même ecclésiastique, devant l'Association for Science Education: «C'est seulement dans les cent cinquante dernières années, c'est-à-dire dans la seconde moitié de ces trois siècles de révolution scientifique et même peut-on dire plus précisément dans ces vingt dernières années, que les phénomènes de l'univers ont été appréhendés dans toute leur ampleur et leur portée, grâce à cette aventure humaine que nous appelons la science et qui reste le plus beau fleuron (hormis, peut-être, la musique) de notre civilisation occidentale [2].»

Les questions que le chercheur pose à la nature sont formulées en termes de *quoi* et de *comment*. Le chercheur décrit, il ne peut répondre aux questions sur le *pourquoi* des choses, questions importantes certes, mais auxquelles la science ne peut prétendre répondre et qui ressortissent à la religion ou à la métaphysique. Il n'y a là aucun conflit: un professeur de sciences hindouiste faisait observer qu'il pouvait se sentir concerné par le *quoi* et le *comment* en tant qu'homme de sciences, et par le *pourquoi* en tant qu'hindouiste.

Ainsi, le professeur de sciences peut se demander: «Que nous apprend cette réaction sur les substances que nous avons mélangées dans l'éprouvette?», mais non pas: «Pourquoi y a-t-il dégagement de gaz quand on verse du vinaigre sur un coquillage?». Il demandera: «Comment les globules rouges maintiennent-ils les mammifères en vie» et non pas: «Pourquoi les mammifères ont-ils des globules rouges?». Allez savoir pourquoi! Quand les enfants constatent qu'il y a de la mousse sur un côté de l'arbre et pas sur l'autre, la question scientifique (posée par le professeur ou par l'élève) sera: «Quelles sont les conditions expliquant que la mousse pousse à cet endroit?»

Répondre aux questions concernant le *quoi* et le *comment* est la tâche du chercheur en science «pure». Utiliser ses découvertes est celle du chercheur en science appliquée et du technologue. Le professeur de sciences doit tenir compte des résultats obtenus dans chacune des trois branches.

Bien que la distinction entre science pure et science appliquée, ou technologie, ne soit pas toujours très claire, on peut dire, qu'en général, le scientifique la manipule. Cette manipulation s'exerce en principe

pour le bien de l'homme, ce qui est incontestable dans le cas de la technologie médicale par exemple. Les technologues de la météorologie ont conscience de manipuler des forces dangereuses, les ingénieurs qui construisent des routes, des ponts, des usines et des centrales hydroélectriques aussi; ils savent que si l'on n'y prend garde, la construction d'un port en eau profonde peut transformer la mer en désert. Ils savent qu'une fonderie de bauxite brûlant du pétrole constitue une source de richesse mais qu'elle consomme un produit dont la formation a pris des millions d'années et qui aurait pu être transformé en engrais chimiques. Éventrer une montagne pour faire passer une route peut détruire la beauté du paysage et la flore et la faune locales, tout en déséquilibrant le bilan hydrologique. Il faut des éducateurs et un public vigilants, conscients et informés pour veiller à la protection de notre patrimoine, car il est irremplaçable. L'explosion technologique a fait naître dans son sillage la nécessité urgente de préparer les responsables et les citoyens de demain à leur tâche. C'est le sort de l'humanité qui est en jeu, et les professeurs de sciences doivent assumer leurs responsabilités à l'égard des générations futures. Ils doivent s'interroger non seulement sur les modalités de la technologie mais aussi sur son utilisation et sa finalité.

Dans l'enseignement scientifique comme dans la science, les valeurs aussi ont une grande importance. Les scientifiques s'insurgent contre la critique ignorante qui tend à présenter la science comme l'ennemie de Dieu, comme une démarche matérialiste, violant la nature, indifférente à l'esthétique, mettant l'arc-en-ciel en pièces (Bronowski) au lieu de le faire briller, et réduisant la beauté d'une fleur à une formule mathématique froide et intellectuelle. Bien au contraire, il est évident que ceux qui ont étudié et décrit minutieusement la merveilleuse complexité d'une fleur ou d'une ruche sont d'autant mieux placés pour en apprécier toute la beauté. Weisskopf, prenant la parole devant l'Union internationale de physique pure et appliquée, affirmait que la science est un instrument essentiel pour permettre à l'humanité d'établir un lien avec son environnement naturel et social [3]. Einstein a dit combien la science l'aidait à croire en Dieu. Pour Bronowski aussi, la science devrait être rangée parmi les humanités, tant les jugements de valeur, le sens du bien, la beauté, le souci éthique et particulièrement la liberté de pensée sont pour elle des préoccupations absolument fondamentales [4]. L'enseignement traditionnel des sciences n'a malheureusement pas su refléter cette dimension essentielle de la science, et c'est pourquoi des scientifiques comme Baez, Alles [5] et Goldsmith [6], entre autres, ont insisté sur la nécessité d'un nouvel enseignement intégré propre à développer chez l'enfant le sens des responsabilités sociales. Dans les programmes récents les plus novateurs, comme le Schools Council Integrated Science Project

(SCISP) et l'Australian Science Education Project (ASEP), la société elle-même devient un thème de réflexion pour l'analyse scientifique, et l'on aborde le problème de l'impact de la science sur la société.

La science évolue

Comme nous l'avons vu, les scientifiques élucident petit à petit les secrets de la nature. Il a fallu toutefois que l'homme *invente* la technique d'élucidation. En inventant la science, l'homme inventa un mode de pensée. Pour satisfaire sa curiosité, il lui fallait élaborer un mode de pensée capable de lui donner, de façon certaine, des réponses fiables. Ce mode de pensée, fruit de la longue quête de l'homme, est la «pensée scientifique», qui a deux mille ans au moins. Le développement de la pensée scientifique est une histoire passionnante. Pour mieux l'apprécier, nous devons nous transporter deux mille ans en arrière, en faisant abstraction de tout notre héritage de connaissances. Nous nous retrouverions peut-être au sein d'une tribu, coupée du reste de la communauté humaine du XXe siècle, une tribu qui a dû élaborer ses propres instruments de pensée sans pouvoir bénéficier de l'apport livresque du passé ni de l'échange avec les autres tribus évoluées. Telle était approximativement la situation des philosophes grecs au IVe siècle avant notre ère.

A l'origine, on croyait d'une manière générale que les événements naturels étaient régis par la volonté imprévisible des divinités. Puis Aristote, au IVe siècle avant notre ère, et Ptolémée, en l'an 140 de notre ère, déclarèrent que le système céleste avait été créé par un Dieu qui agissait selon certains principes philosophiques et mathématiques intelligibles. La Terre, les planètes et les étoiles étaient des sphères inscrites dans de plus grandes sphères, toutes animées d'un mouvement uniforme: il devait en être ainsi, affirmaient-ils, puisque la sphère est le plus parfait de tous les corps, et le mouvement uniforme le plus parfait de tous les mouvements. Puisqu'ils pouvaient découvrir les principes de l'univers par la seule pensée théorique, les philosophes estimaient que l'observation n'était pas nécessaire.

Toutefois, des difficultés surgissaient quand certaines observations, comme le mouvement des planètes, venaient contredire la théorie. Au début, on élargit la théorie, puis, quand il n'y eut plus moyen de faire coïncider les observations avec elle, les philosophes soutinrent que les observations devaient être fausses. (Cette attitude se retrouve encore aujourd'hui dans certains laboratoires universitaires!)

Il pourra paraître étonnant que ces idées aient été admises jusqu'au XVIe siècle, mais il faut se rappeler que le moyen âge fut, pour la civilisation européenne, l'âge des ténèbres (les Arabes étaient beaucoup

plus avancés dans le domaine de la science et de la médecine); toujours est-il que les questions propres à faire évoluer la science n'étaient pas venues à l'esprit des savants.

La révolution scientifique fut marquée par le triomphe de l'observation comme source de vérité. Les travaux de l'astronome polonais Copernic, au XVIe siècle, ont constitué un jalon décisif dans l'invention de la science. Sa conception de l'univers (qui plaçait le Soleil, et non plus la Terre, au centre du système) fut déterminante non tant par son contenu que par sa simplicité et par sa capacité d'intégrer les observations subséquentes de Tycho Brahé et d'autres chercheurs. Une belle théorie est une théorie simple et capable de rendre compte des observations antérieures et ultérieures. Nous pourrions justifier l'activité observée dans une casserole d'eau bouillante par une théorie sur la présence de démons, mais il nous faudrait attribuer sans cesse de nouvelles facultés à ces démons à mesure que nous réunirions d'autres observations [7]. La théorie des particules est beaucoup plus simple et a, jusqu'à présent, concordé avec toutes les observations. Il en allait de même pour la théorie de Copernic, systématisée par Kepler.

Avec Galilée, au XVIIe siècle, un autre pas décisif devait être accompli par la pensée humaine. Bien que ses recherches n'aient pas été appréciées à l'époque, et qu'elles lui aient même valu l'hostilité de l'Église et des universités, Galilée donna à l'humanité le principe de l'expérimentation, l'idée de confronter ses interrogations à la réalité de la nature. Galilée n'a peut-être pas vraiment laissé tomber des balles du haut de la Tour penchée à Pise, mais ce qui est certain, c'est que nous lui devons l'idée de l'expérience programmée, de la reproductibilité et de l'objectivité, se substituant à la théorie philosophique et à la subjectivité. A peu près à la même époque, le Hollandais Van Helmont réalisait sa célèbre expérience pour vérifier la théorie d'Aristote selon laquelle les arbres se nourrissent du sol. La révolution scientifique (1555–1700) était en marche et allait atteindre son apogée dans l'œuvre de Newton, que l'on a appelé le plus grand savant de tous les temps. Les lois de Kepler et de Newton purent intégrer des observations remontant aussi loin que l'époque des astronomes babyloniens, grecs et maures. L'homme avait appris à penser différemment et cette évolution allait s'avérer capitale pour l'avènement de la civilisation moderne. Quarante ans seulement après que Galilée eut été contraint par l'Église de se rétracter, Newton, en réponse à un savant qui croyait avoir entièrement détruit son système grâce à un nouveau télescope, se contentait de répliquer: «Cela se peut, on ne saurait contester les faits et les expériences.» Et le même Newton déclarait: «Si j'ai pu voir un peu plus loin, c'est en montant sur les épaules des géants [8].»

Les siècles suivants virent de grands progrès dans la compréhension de l'univers par l'homme. Les enseignements tirés de l'étude de

l'astronomie donnèrent naissance à la chimie scientifique, à l'étude de la chaleur et, finalement, à la biologie (qui ne fit son entrée dans les écoles américaines qu'au XXe siècle). Ce fut au XIXe siècle que la science, jusqu'alors considérée comme une seule et unique discipline — la «philosophie naturelle» — se scinda en trois branches distinctes: physique, chimie et biologie. Le XIXe siècle se caractérisa également (probablement pure coïncidence) par l'assurance des scientifiques. Quand on proposa d'installer des laboratoires à Cambridge, le mathématicien Todhunter répondit en 1873 (soit deux cents ans après la réponse pleine d'humilité du grand Newton, citée plus haut) qu'il n'était pas nécessaire pour les étudiants de procéder à des expériences puisque leurs professeurs se portaient garants de ces résultats, ces professeurs étant probablement des ecclésiastiques au savoir accompli, aux compétences reconnues et à la réputation irréprochable! Lawrence Bragg, qui devait par la suite s'illustrer par ses travaux sur la cristallographie au moyen des rayons X, rapporte que lorsqu'il était étudiant à Cambridge au début du siècle, la physique classique était considérée comme une science achevée, dans laquelle il ne restait, pour ainsi dire, plus rien à découvrir et où il ne s'agissait plus que de déterminer les constantes physiques à une nouvelle décimale près [9].

Le XXe siècle apporta dans le domaine de la science une révolution aussi radicale, à sa manière, que celle du XVIIe siècle. Au début du siècle, Thompson découvrit l'électron. Einstein démontra que les lois de Newton étaient inadéquates (ce que Newton lui-même aurait approuvé), et les savants continuent de mettre à l'épreuve les théories d'Einstein en tentant de les réfuter (ce qu'Einstein approuverait). La structure de l'atome n'a pas cessé de susciter de nouvelles théories qui, à peine conçues, sont abandonnées, puis reprises et remaniées. Une dimension très importante, sinon la plus importante, de la science s'est imposée: la science n'a pas de certitudes et ses connaissances se modifient constamment. Si la science est connaissance, il s'agit là d'une connaissance dynamique. «Prouver» est un vocable qui peut être appliqué en mathématiques ou en logique, mais qui maintenant n'a généralement plus sa place en sciences. Si un savant ne parvient pas à découvrir la présence de la vie sur Mars, il n'a pas pour autant prouvé qu'il n'y a pas de vie sur cette planète.

Le scientifique du XXe siècle ne devrait être sûr que d'une chose: tout ce qu'il sait peut un jour se révéler faux. Néanmoins, Hannes Alfvén, lauréat du prix Nobel de physique 1970, a insisté à son tour sur la nécessité pour les scientifiques de maintenir une vigilance constante, faute de quoi ils risquent de croire à des théories mythiques tout aussi fermement que le firent autrefois Aristote et Ptolémée. La différence entre la science et le mythe, selon lui, c'est la différence entre la pensée

critique et la croyance aux prophètes [10]. Il faut toujours craindre que les théories actuellement admises ne soient pas examinées d'un œil suffisamment critique et passent pour la sagesse des prophètes, donc pour un savoir intouchable.

Il y a là une leçon à tirer pour l'école. Avant 1960, l'enseignement des sciences était constitué en quasi-totalité des acquis du positivisme du XIXe siècle, sous la rubrique «physique moderne», on regroupait en vrac tout ce qui s'était passé depuis 1960, pour ne l'aborder qu'à la fin des études secondaires. Dans bien des écoles, à l'heure actuelle, la situation n'a pas fondamentalement changé, et l'on trouve encore des élèves occupés à «prouver» la loi de Boyle ou à copier des diagrammes représentant des feuilles d'arbres parfaitement symétriques.

Mais si l'on veut que les enfants apprennent les sciences, il faut leur inculquer la conception qui est celle de la science à la fin du XXe siècle. Cela suppose que nous leur apprenions à accorder plus d'importance à l'observation qu'aux affirmations des manuels scolaires et des professeurs-prophètes, faute de quoi ils en resteront au stade de la pensée précopernicienne et seront prêts à accepter des affirmations aristotéliciennes. Si nous voulons les faire arriver jusqu'à Galilée, nous devons veiller à ce que les enfants comprennent que l'expérimentation est le moyen de forcer la nature à répondre à leurs questions. Et si nous voulons les amener au cœur du XXe siècle, nous devons leur faire saisir le rôle du doute en matière de science et leur expliquer que les théories sont des spéculations ou des suppositions qui doivent être abandonnées ou modifiées dès qu'elles ne concordent plus avec les observations. Les enfants doivent savoir que *personne ne détient la connaissance.* Si nous pouvons susciter chez l'enfant cette prise de conscience, il aura appris les sciences quel que soit le programme parcouru. Mais si nous lui enseignons comme des vérités inébranlables les théories de Newton, Darwin, Boyle, etc., nous ne ferons qu'enseigner le mode de pensée du moyen âge et d'avant, et l'enfant n'apprendra pas les sciences. Nous lui aurons refusé la possibilité d'accéder à ce qui constitue peut-être le plus noble accomplissement de l'homme. Nous l'aurons laissé désarmé contre les mythes que propagent les politiciens, les publicitaires et autres dangereux prophètes.

La spécificité de la science

Poursuivant notre interrogation «Qu'est-ce que la science?», voyons maintenant si la science a des caractéristiques qui lui appartiennent en propre et qu'on ne retrouve pas dans les autres disciplines. Nous avons vu que la science s'interroge sur le *quoi* et le *comment,* et non sur le

pourquoi; nous avons vu également l'importance du témoignage des faits pour la science. Peut-on être sûr, cependant, qu'une activité savante donnée est (ou n'est pas) une science? La science sociale est-elle une science? Y a-t-il une différence entre la science sociale et les études sociales? Quel est le rapport entre les mathématiques et les sciences? Le savoir peut-il être classé en diverses branches?

La science et les autres disciplines. Il est entendu que les diverses disciplines possèdent des concepts centraux qui leur sont propres (la pesanteur, la photosynthèse et les corps simples, par exemple, pour la science); que les concepts d'une discipline forment un réseau de rapports dans le cadre de cette discipline; que chaque discipline a son langage, ses symboles et ses modes de communication propres, ainsi que ses techniques et ses procédés spécifiques [11]. La science dépend au premier chef de l'expérimentation et de l'observation. Les sciences sociales et l'histoire peuvent avoir recours à ces techniques (de fait, l'archéologue est un historien scientifique), mais elles ne constituent pas pour elles une exigence indispensable et l'histoire reste l'histoire, même si les preuves font défaut. Pour Philipp Henry Phenix, professeur de sciences sociales aux États-Unis, les sciences sociales appartiennent, avec la psychologie, les sciences physiques et les sciences de la vie, au «domaine de signification» qu'il appelle l'empirisme. Du fait que le chercheur en sciences sociales a pour objet d'étude les gens et les populations humaines, les variables qui entrent en jeu sont multiples et difficiles à manipuler; mais à partir du moment où l'expérimentation, l'observation et le témoignage des faits sont indispensables à la science sociale, il est logique de la considérer comme une science. Hirst, en revanche, distingue les sciences humaines des sciences physiques, et classe les premières avec l'histoire.

L'un et l'autre philosophes s'accordent à reconnaître que les mathématiques ne sont pas empiriques et ne doivent pas être classées avec les sciences. Hirst range les mathématiques avec la logique, tandis que Phenix les classe avec le langage. Incontestablement, les mathématiques sont un langage, d'ailleurs largement employé par les scientifiques dans la mesure où il permet de dire admirablement en une demi-ligne ce qui nécessiterait un livre entier en langage ordinaire. Mais les mathématiques sont aussi une logique, une démarche déductive partant de certaines vérités générales admises, ou axiomes, pour arriver aux cas individuels par le canal des théorèmes. En mathématiques, on «prouve» quelque chose.

Quand les sciences sont enseignées de cette façon, ce qui arrive très souvent dans les écoles où l'on considère les scientifiques et les mathématiciens comme interchangeables, on aboutit à la négation même de la science. Un enseignement des sciences fondé sur la

déduction emmène l'enfant à reculons dans l'itinéraire scientifique, en partant de la théorie des particules (par exemple) et en l'appliquant ensuite à la structure des cristaux, aux lois des gaz et à tous les autres cas spécifiques de comportement des particules. On enseigne les sciences aux enfants selon une méthode qui est contraire au raisonnement scientifique. Les programmes modernes d'enseignement des sciences adoptent une démarche inverse, procédant par induction pour aborder les problèmes. Les enfants observent que les cristaux ont une structure géométrique régulière, que les mouvements browniens interviennent au sein d'une particule de fumée, que l'air exerce une pression, que les liquides et les gaz se répandent. A partir de ces phénomènes, ils sont amenés à comprendre que, pour établir un rapport entre ces différentes observations, on peut raisonnablement supposer que la matière est particulaire, granulaire, discrète et discontinue. Le raisonnement part des observations spécifiques pour arriver à un principe général, retraçant ainsi le cheminement des grandes théories scientifiques. Cette méthode inductive préconisée par les programmes des années soixante ne correspond cependant peut-être pas exactement à la démarche adoptée par le scientifique sur le terrain. Peter Brian Medawar, biologiste britannique contemporain, soutient ainsi que l'induction dans les sciences est un mythe. Pour les adversaires de la conception inductive, il ne saurait y avoir d'observation significative sans une quelconque supposition (hypothèse) au départ. Selon Karl Popper, philosophe britannique contemporain, le problème des rapports entre l'hypothèse et l'observation évoque le problème de la poule et de l'œuf. De même que la présence de la poule suppose l'existence préalable d'un œuf, de même l'observation implique-t-elle une hypothèse préalable et ainsi de suite. Certains signes sembleraient indiquer une désaffection progressive de l'enseignement des sciences à l'égard de l'approche hyper-inductive, mais il paraît néanmoins très improbable que l'on en revienne à l'enseignement déductif d'autrefois. Dans l'immédiat, les professeurs de sciences devraient veiller à ne pas tomber dans le piège consistant à enseigner les sciences comme les mathématiques ou la logique, car les sciences ne sont ni l'une ni l'autre. La démarche des sciences devra toujours être «Je me demande si...».

Hirst et Phenix pensent tous deux que les divisions qu'ils établissent entre les différentes «formes de connaissance» ou «domaines de signification» viennent logiquement à l'esprit et que, de par leur nature même, les disciplines se distinguent les unes des autres. Il existe cependant une autre école pour laquelle chaque discipline est simplement apparue un jour et a entrepris ensuite de définir et de développer son domaine. Selon cette optique, une discipline n'est autre que le résultat des efforts accomplis par une communauté d'êtres humains pour élargir et approfondir sans cesse le champ des connaissances dans

un domaine de réflexion donné. Pour King et Brownell [12], qui défendent ce point de vue, est champ de connaissances tout ce que les membres de la communauté définissent comme tel. Autrement dit, «la science est le produit de l'activité du chercheur». Si nous réfléchissons au mode d'émergence de la science au cours de l'histoire, il semble bien que cette conception soit plus conforme à la réalité que celle de Hirst et de Phenix.

Il faut donc en conclure qu'il n'est pas possible de délimiter les domaines respectifs de la science et des autres disciplines, sinon à partir des critères évoqués au paragraphe intitulé «La science et les autres disciplines». La science peut aussi bien être le fait des historiens, des artistes, des musiciens, des mathématiciens et de l'homme de la rue: comment s'étonner, dans ces conditions, que ses frontières connaissent de perpétuelles fluctuations? Il n'est pas moins difficile de cerner les domaines respectifs de la physique, de la chimie ou de la biologie qui, comme le souligne Whitfield (voir Bibliographie, p. 37), ont commencé à se différencier les unes des autres vers 1800, pour voir ensuite leurs frontières s'effacer à partir de 1920 avec la naissance de disciplines comme la biochimie et la biophysique. A la fin du XXᵉ siècle, nous constatons que ces distinctions n'ont plus cours que dans les dernières années du secondaire et dans les premières années de l'enseignement supérieur, et encore cette marge va-t-elle en diminuant rapidement.

Conséquences pour l'enseignement

L'école, cela va de soi, devrait mettre l'enfant en contact avec des formes de pensée aussi diversifiées que possible, quel que soit leur mode de classification. Quelles que soient les étiquettes données aux matières scolaires, l'enfant a droit à se familiariser avec les sciences empiriques, l'esthétique et tous les autres domaines de l'expérience humaine. Un enfant qui n'étudie que la physique, la chimie, la biologie, les mathématiques et sa propre langue, est tout aussi démuni qu'un enfant qui n'étudie que l'histoire, la géographie, les arts, les mathématiques, la littérature et sa propre langue. Le développement qu'ont connu, dans les années soixante-dix, les cours d'enseignement scientifique intégré tient en partie au fait que les éducateurs ont reconnu la nécessité de proposer à tous les enfants un programme équilibré aussi loin que possible au cours de leur scolarité.

Si la science est le produit de l'activité du chercheur, en quoi consiste donc cette activité? Nous avons déjà partiellement répondu à cette question en disant que le chercheur interroge la nature et l'oblige progressivement à livrer ses secrets. En réalité, la science a une double dimension: elle est à la fois l'ensemble des connaissances accumulées

par les chercheurs, et les processus qui ont permis l'acquisition de ce savoir. Nous allons maintenant examiner ces deux dimensions de plus près, dans le contexte de l'enseignement des sciences à l'école.

L'ensemble des connaissances scientifiques. Cet ensemble de connaissances peut être considéré comme une série de nœuds dans un filet plutôt emmêlé. Les multiples petits nœuds représentent les détails de la science (comment préparer l'oxygène, la transpiration par les stomates des feuilles, la structure du cœur chez les mammifères, les séries et les circuits parallèles, etc.). Pris séparément, ces détails ne nous apprennent pas grand-chose sur la nature, et les écoliers ont du mal à les mémoriser. Isolés les uns des autres, non reliés au réseau d'ensemble, ils restent des petits faits gratuits, fort peu révélateurs. Malheureusement, l'enseignement scientifique à l'école se résume bien souvent à ces petits faits, qui ne forment pas plus une science qu'un tas de briques ne constitue une maison.

Quand les petits nœuds sont assemblés pour former de plus gros nœuds, c'est-à-dire lorsqu'on passe au stade des généralisations, la science commence à prendre corps. Des psychologues comme Ausubel et Bruner soulignent que l'enfant a besoin de points de repère pour assimiler les connaissances nouvelles; il doit pouvoir situer le savoir nouveau par rapport au savoir déjà acquis. On voit par là qu'un enseignement fondé sur la généralisation est compatible avec la démarche scientifique, mais aussi qu'il aboutit pour l'enfant à un meilleur apprentissage. Quand le professeur ne parvient pas à en expliciter la généralisation, il y a de fortes chances que l'élève ne saisisse pas le but de la démonstration.

Par le choix de ses sujets, le professeur a la possibilité de rattacher la science aux intérêts et aux besoins de la communauté au sein de laquelle il exerce. Des sujets aussi divers que la pisciculture, la circulation, notre rue ou la cuisine conviendront à des communautés différentes, mais chacun d'eux permet d'apprendre aux enfants l'ensemble des connaissances accumulées par les scientifiques.

A mesure que l'enfant mûrit et maîtrise un nombre croissant de concepts et de généralisations, les gros nœuds qui composent le filet du savoir commencent à s'assembler pour former des nœuds géants. Ceux-ci sont les grands principes, lois et théories qui font la gloire de la science. Tous les enfants ne vont pas si loin dans l'apprentissage scientifique, tous ne sont pas non plus aptes à manier des abstractions, en sorte que beaucoup n'atteindront pas ce stade. D'ailleurs, nombre de professeurs de sciences ne possèdent pas eux-mêmes les compétences nécessaires pour enseigner à ce niveau. Cependant, si l'objet principal de l'enseignement des sciences est de fournir un certain bagage scientifique, cet enseignement ne prendra tout son sens qu'en tendant à

s'approcher le plus possible de ce stade d'abstraction. Les enfants au niveau primaire ne peuvent pas aller très loin dans cette voie, aussi le but essentiel de l'enseignement des sciences à ce niveau ne devrait-il pas consister à faire acquérir des connaissances. Au reste, un tel but serait parfaitement inaccessible. Nous avons déjà mentionné que le maître faisant la classe aux jeunes enfants n'a pas besoin lui-même d'un bagage considérable de connaissances scientifiques, et même s'il ne connaît pas bien les atomes ou l'anatomie, il ne risque pas grand-chose. Malheureusement, les formateurs de futurs enseignants s'en rendent rarement compte, et les programmes des écoles normales tendent à valoriser le contenu de l'enseignement primaire plus qu'il ne paraît souhaitable.

Les processus de la science. Les processus d'acquisition du savoir constituent la seconde dimension de la science. Ritchie [13] déclare: «La méthode scientifique consiste fondamentalement à confronter les idées à la réalité, c'est-à-dire à concevoir des expériences pour tester les idées ou les hypothèses et les prédictions fondées sur celles-ci.» Nous allons donc examiner maintenant les opérations impliquées dans la conception de ces expériences.

Si nous avons soutenu que les connaissances scientifiques doivent jouer un rôle secondaire dans l'enseignement dispensé aux jeunes enfants, les processus scientifiques, en revanche, pourtant négligés dans les anciens programmes, représentent un apport fondamental pour la formation des élèves de tous âges. Certains de ces processus sont communs à diverses branches du savoir, d'où une relative unanimité, parmi les pédagogues, sur la nécessité d'un enseignement primaire intégré. Il s'ensuit que l'instituteur d'école primaire ne doit plus se définir comme professeur de sciences, de dessin ou de langue, mais comme formateur d'enfants. Un bon enseignement suppose que l'enseignant ait conscience, entre autres choses, des aptitudes que peut développer chez l'enfant une méthode de travail scientifique. Que l'enfant soit ou non amené à poursuivre son apprentissage scientifique, le développement de ces aptitudes est d'une importance capitale pour la réalisation des finalités de l'enseignement général.

Cherchant à définir les processus de la science, l'American Association for the Advancement of Science (AAAS) a demandé aux scientifiques de dire en quoi consistait leur activité. L'enquête a permis d'établir une liste de treize processus, que nous présentons accompagnés de quelques notes explicatives.

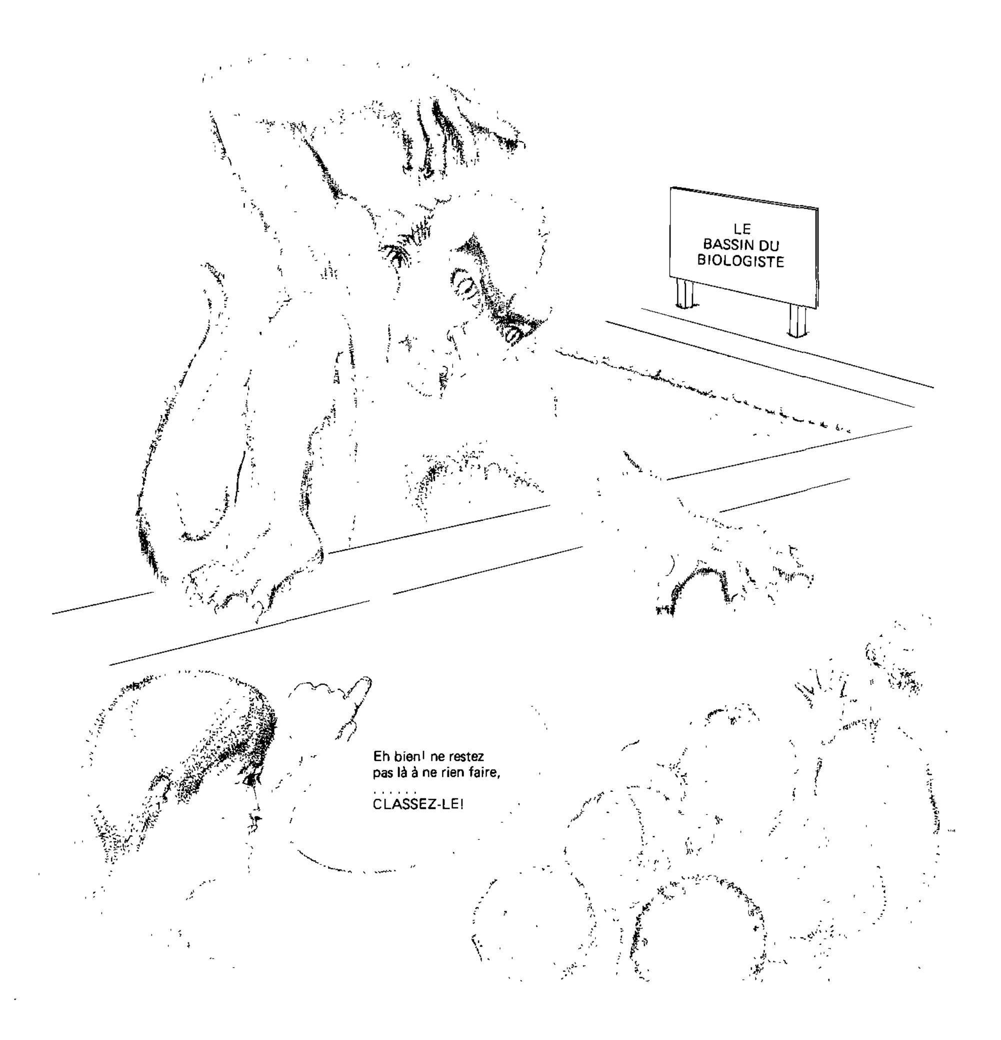
1. Observation. (Par tous les sens, bien entendu.) Pour être curieux, il faut avoir observé, et la faculté d'observation peut s'apprendre. Les sens étant perpétuellement bombardés par des stimuli, la conscience agit sélectivement, si bien que de nombreux événements échappent à notre attention. Certaines observations fortuites nous donnent à

réfléchir alors que d'autres sont ignorées. Néanmoins, les observations sont en elles-mêmes moins précieuses que les interrogations qu'elles suscitent. («Bizarre! Qu'est-ce qui a bien pu provoquer cela?») Les enfants peuvent être aidés et formés à faire des observations qui aient un but, comme un détective qui recherche des indices afin de découvrir l'arme du crime, le mobile du crime, puis le criminel lui-même. «Réunissons autant d'indices que possible pour pouvoir décrire ce qui se passe. Ne cherchez pas à deviner pour l'instant, dites simplement ce que vous voyez, entendez, sentez, etc. Trouvez des faits.» C'est ainsi que les enfants apprennent à rassembler des données tangibles, tout en faisant la différence entre l'observation et l'interprétation.

2. Classification. Pour mettre de l'ordre dans leurs investigations sur la nature, les scientifiques ont mis au point des systèmes de classification. On a ainsi les classifications animal/végétal, vertébré/invertébré, solide/liquide/gazeux, le système de classification périodique, les roches sédimentaires/métamorphiques/ignées, l'opposition métallique/non métallique. D'autres systèmes de classification (par exemple rayé/uni, rugueux/lisse) ne sont pas nécessairement erronés ; il se trouve simplement que les scientifiques les jugent moins utiles et, donc, ne les emploient pas. Lorsque les enfants commencent à apprendre les premiers rudiments de la classification, il est bon de les laisser élaborer les systèmes de leur choix. Nul besoin de plonger prématurément les enfants dans l'apprentissage des classifications scientifiques. La classification comme but en soi ne présente aucun intérêt et bien des enseignants se tourmentent inutilement en se reprochant de ne pas connaître la classification scientifique des plantes et animaux courants. Il pourrait s'avérer tout aussi utile, à tel ou tel stade, de classer les plantes selon qu'elles poussent à l'ombre ou au soleil, ou selon qu'elles sont considérées localement comme comestibles ou non. C'est seulement à un stade très avancé dans l'étude des sciences que les classifications établies par les savants deviennent réellement nécessaires.

3. Notation numérique. L'information peut être décrite et analysée de manière économique et pertinente grâce au langage des mathématiciens ; c'est pourquoi les scientifiques comptent, mesurent, dessinent des graphiques, résolvent des équations, etc. Il convient toutefois de ne pas trop privilégier ce processus avec des enfants jeunes ou un peu lents, car ils risquent de le trouver décourageant et ennuyeux. Il y a là, néanmoins, un domaine riche de possibilités pour une approche intégrée.

4. Mesure. La mesure (au moyen d'une ficelle, d'une règle, d'une balance, d'un thermomètre, d'une tasse, par exemple) nous donne des informations utiles au cours de nos explorations. Puisque les techniques de mesure n'ont pas d'intérêt en soi, il vaut mieux les enseigner au



fur et à mesure que l'on a besoin d'elles, plutôt que de consacrer quelques semaines à leur apprentissage en termes abstraits. Très souvent, une estimation ou une mesure approximative est plus importante qu'une mesure très précise, et ces différentes techniques doivent être apprises à l'enfant. Il doit savoir dans quels cas une estimation suffit et dans quels cas une mesure précise s'impose. Il est faux et trompeur de dire, par exemple: «Un citron vert pèse 8 grammes et un pamplemousse 314 grammes.»

5. *Rapports spatio-temporels.* Il s'agit là d'explorer et d'utiliser les notions de forme, de distance, de mouvement et de vitesse. Ce processus peut s'appliquer à l'étude de la forme des animaux ou des cristaux, à

l'observation de boules roulant le long d'une pente, ou éventuellement à une course de crabes.

6. Communication. La communication est étonnamment négligée dans les écoles, bien que l'art de communiquer ne puisse s'apprendre que par la pratique. Les enfants ne savent en général pas s'exprimer, surtout si le langage scolaire n'est pas celui qu'ils emploient à la maison. Quand un enfant ne peut pas exprimer sa pensée en mots, oralement ou par écrit, il en est réduit aux gestes et aux mimiques, ou au silence. Le professeur doit — et il s'agit là d'une de ses tâches les plus importantes — donner à chaque enfant la possibilité de penser et de traduire ses pensées en paroles, en textes écrits, en dessins, en graphiques et en équations. Le plus sûr moyen d'entraver le développement de la capacité de communiquer chez l'enfant est que le professeur s'attribue le monopole de la parole et exige que les enfants emploient le langage formel des manuels scolaires.

7. Prévision. La science étant beaucoup plus qu'une simple description des observations, la supposition intelligente, ou prévision, représente une partie essentielle du travail du scientifique. Il se fixe un itinéraire de recherche en se demandant: «Qu'est-ce qui arriverait si...?», en émettant son hypothèse et en entreprenant ensuite de la vérifier. Les enfants devraient se sentir encouragés par leur professeur à formuler des questions du genre: «Qu'est-ce qui se passerait si...?», et à émettre leurs propres prévisions, sans craindre de se tromper puisque cela arrive constamment aux savants. Le professeur sait qu'il est dans la bonne voie quand il entend un enfant se dire: «Je me demande ce que fera le cloporte si je le touche. Je pense qu'il s'enfuira. C'est drôle, il vient de se rouler en boule! Je me demande si...». Un apprentissage authentique se caractérise non pas tant par le fait de trouver les réponses que par le fait de poser les questions. Bronowski a dit: «Voici en quoi consiste l'essence de la science: posez une question impertinente et vous êtes sur le chemin de la réponse pertinente.»

8. Déduction. Il s'agit là d'un autre type de supposition, d'une explication subjective pour rendre compte des observations. Un scientifique observant la présence d'une mèche à chaque extrémité de la bougie en déduira que la bougie est traversée par une mèche unique. La déduction pourrait se révéler plus utile que l'observation elle-même, dans la mesure où elle mène à quelque chose de précis. Face aux déductions émises par un scientifique, un autre scientifique dira: «C'est peut-être là l'explication; je vais tenter de la vérifier.» Et c'est ainsi que la science progresse.

9. Définitions opérationnelles. Les définitions permettent une économie de communication puisqu'un seul mot ou terme peut servir à remplacer chaque fois toute une longue description, à condition, bien entendu, que l'utilisateur spécifie d'abord très clairement le sens qu'il

attribuera au mot ou au terme en question. On peut imaginer les complications de langage auxquelles nous serions confrontés si nos prédécesseurs n'avaient pas défini la *force* comme ce qui provoque l'accélération, l'*accélération* comme l'accroissement de la vitesse par unité de temps et la *vitesse* comme la distance parcourue par unité de temps. Ces mots ont des définitions opérationnelles puisqu'ils sont définis par un rapport mesurable ou par un certain phénomène.

10. Formulation des hypothèses. Cette liste de processus constitue une hiérarchie. Chaque processus se situe en effet à un niveau de compétence supérieur à ceux qui le précèdent, tout en les englobant; la formulation des hypothèses est donc une aptitude qui intervient à un niveau assez avancé et sur laquelle il convient de ne pas trop insister avec les jeunes enfants. Une hypothèse est une supposition. Une hypothèse causale propose des causes. Une hypothèse vérifiable est une hypothèse dont on peut établir ou infirmer la validité. Voici quelques exemples:

L'engrais X est bon pour tout ce qui pousse (hypothèse qui pourrait facilement être infirmée, mais jamais prouvée de manière irréfutable).

L'engrais X est bon pour faire pousser les pois gungo (hypothèse vérifiable).

L'engrais X est bon pour faire pousser les pois gungo parce qu'il contient un nitrate (hypothèse causale, et vérifiable avec difficulté).

Même si l'enseignant ne cherche pas délibérément à développer cette aptitude chez l'enfant, il devrait rester vigilant et savoir déceler les moments où l'enfant s'essaie inconsciemment à formuler des hypothèses. A un enfant qui déclare: «Les oiseaux ne mangeront pas les chenilles», il pourra demander: «Qu'est-ce qui te fait penser cela, Anna?» Anna répondra peut-être qu'elle pense que les oiseaux auront peur des «piquants» de la chenille. Anna et l'enseignant pourraient alors trouver un moyen pour vérifier s'il est vrai que les oiseaux ne mangent pas les chenilles. Dans une activité bien connue du programme de chimie de Nuffield, on demande aux enfants d'où vient la substance noire quand on fait chauffer un morceau de cuivre sur une flamme. Certains pensent qu'elle vient de la flamme, d'autres qu'elle vient de l'air, d'autres enfin qu'elle vient du cuivre, si bien qu'on aboutit à une recherche très enrichissante.

11. Interprétation des données. Les données en elles-mêmes n'offrent qu'un intérêt limité. Ce qui compte, ce sont les perspectives sur lesquelles elles débouchent: quelles généralisations nous permettent-elles de formuler? Quelle est leur signification par rapport aux questions plus vastes? Nous apprennent-elles beaucoup ou peu de choses? Une courbe de croissance démographique ou une courbe de

refroidissement nous amène à réfléchir sur ce que dit le graphique et sur ce que cela implique pour les problèmes de subsistance, ou pour notre compréhension de l'énergie en œuvre dans le système. La collecte et l'interprétation des données nous aident à répondre aux grandes questions.

12. Identification et contrôle des variables. La capacité d'identifier et de contrôler les variables d'une expérience venant avec la pratique, il faut en graduer l'exercice en fonction de l'âge de l'enfant. Ce n'est qu'à un stade assez avancé de son développement que celui-ci sera en mesure de comprendre toutes les implications de la démonstration bien connue des plantes sous cloche: l'une des cloches, servant de témoin, contient un ballon d'hydroxyde de sodium pour absorber le gaz carbonique, et l'on constate que la photosynthèse n'a pas lieu pour la plante abritée sous cette cloche. Toutéfois, quand les enfants sont en mesure de comprendre le contenu scientifique de cet exercice, la plupart d'entre eux ont déjà appris à une autre occasion que le gaz carbonique est utilisé par les plantes dans la photosynthèse, et il serait aussi peu scientifique qu'inutile de prétendre qu'ils ne le savent pas. Mais la démonstration pourrait servir à «montrer comment travaillent les scientifiques» plutôt qu'à «montrer que le gaz carbonique..., etc.». Les enfants plus grands qui étudient, par exemple, l'effet du sel dissous sur la mousse produite par différents détergents, devraient saisir qu'il y a un certain nombre de variables susceptibles d'être manipulées, telles que la quantité de sel, la marque du détergent, la quantité de détergent, et la température. Les conseils de l'enseignant pourront aider l'enfant à décider lesquelles de ces variables il va faire varier, et l'enseignant veillera à ce que l'enfant comprenne bien *pourquoi* il n'en fait varier qu'une à la fois.

13. Expérimentation. On atteint là un niveau élevé dans l'art du scientifique, et l'on se rappellera que la science n'avait guère progressé avant que Galilée n'invente ce processus au XVIIe siècle. L'expérimentateur formule une hypothèse à partir des observations qui l'ont intéressé, et, ensuite, conçoit un procédé pour tester son hypothèse. «Comment puis-je trouver?», se demande le savant; «comment pouvez-vous découvrir que votre supposition est exacte?», dit le professeur, puis il ajoute: «Testez-la et vous verrez.»

Convaincue que ce sont les processus de la science qu'il convient d'enseigner aux enfants de l'école primaire, l'American Association for the Advancement of Science a conçu un ouvrage intitulé: *Science: a process approach.* [La science à partir de ses processus]. Un examen des programmes les plus récents, et particulièrement ceux qui concernent les écoles primaires, montrerait que les responsables ont surtout insisté sur les processus scientifiques.

Les questions qui viennent d'être abordées ici et dans les sections précédentes, ainsi que d'autres problèmes tels que les finalités, les buts et les objectifs spécifiques de l'enseignement des sciences sont étudiés en détail dans l'annexe intitulée «Questions à débattre» (voir p. 199). Nous espérons que les professeurs de sciences pourront en tirer profit, car ils y trouveront un certain nombre d'études de cas et de tâches connexes dont on sait d'expérience qu'elles contribuent utilement à la formation des élèves.

Conclusions

Tous les enfants devraient-ils recevoir un enseignement de sciences? A cette question, nous répondons oui, même si les cours de sciences qui leur sont offerts sont les mêmes que ceux que la plupart d'entre nous ont suivis à l'école.

Cependant, si nous pouvons donner aux enfants la possibilité de travailler comme des scientifiques, de penser comme des scientifiques et de faire des erreurs, nous leur offrons alors des occasions irremplaçables de se développer sur le plan intellectuel et personnel. Bronowski a dit: «Ne méprisons pas les erreurs, elles sont le levier qui fait avancer le processus de la vie.» Si nous invitons les élèves à réfléchir aux théories de la science, à leur pouvoir, à leur élégance et à leur beauté, et, par-dessus tout, à leur caractère d'incertitude, nous ne trahirons pas «le plus grand accomplissement intellectuel et culturel» dont parlait Bullock. Si nous sommes capables de présenter ainsi les choses, alors tous les enfants devraient apprendre les sciences.

Les enseignants qui expérimentent de nouvelles techniques pédagogiques perçoivent en général une légère dégradation du rapport enseignement-apprentissage. De même, quelqu'un qui tape à la machine avec deux doigts et décide de taper au toucher est tout d'abord déçu par sa lenteur et par le nombre de fautes commises. Aucune technique nouvelle ne marche bien lors des premiers essais, mais nous pouvons nous dire que les erreurs commises par les enseignants sont souvent aussi profitables que celles des enfants. Si le professeur en a conscience, il continuera à perfectionner ses techniques au fur et à mesure que ses élèves en viendront à mieux comprendre les nouvelles méthodes d'apprentissage. L'enseignement et l'apprentissage des sciences deviendront alors un processus dynamique et passionnant pour tous les participants.

Références

1. BULLOCK, Lord. Presidential address to the Association for Science Education. *School science review,* vol. 57, n° 201, juin 1976, p. 621.
2. PEACOCKE, A. R. Natural science and Christian meaning. *School science review,* vol. 58, n° 202, septembre 1976, p. 153–156.
3. WEISSKOPF, V. F. Is physics human? *Physics education,* vol. 11, n° 2, mars 1976, p. 75–79.
4. Voir, par exemple, BRONOWSKI, J., *The ascent of man,* London, BBC Publications, 1973; et *The common sense of science,* Harmondsworth, Penguin, 1960.
5. BAEZ, A.V.; ALLES, J. L'enseignement scientifique intégré et la formation générale. Dans: Richmond, P. (dir. publ.), *Tendances nouvelles de l'enseignement intégré des sciences,* vol. II, chap. 9, Paris, Unesco, 1975.
6. GOLDSMITH, M. L'importance sociale de l'enseignement des sciences et des mathématiques dans le Commonwealth. Dans: Richmond, P. (dir. publ.), *Tendances nouvelles de l'enseignement intégré des sciences,* vol. III, chap. 19. Paris, Unesco, 1976.
7. SCIENCE TEACHER EDUCATION PROJECT. *Activities and experiences.* London, McGraw-Hill, 1974. (SCI 4.)
8. WEBER, R. L. (dir. publ.) *A random walk in science,* p. 187, 192. The Institute of Physics, 1973.
9. BRAGG, L. *Ideas and discoveries in physics.* London, Longman, 1970. (Longman Physics Topics.)
10. ALFVE H. Cosmology: myth or science? *The British Association for the Advancement of Science, supplement no 1* (3 septembre 1976) au *Times Higher Education Supplement.*
11. HIRST, P. H. Liberal education and the nature of knowledge. Dans: Archambault, R. D. (dir. publ.), *Philosophical analysis and education,* p. 113–138. London. Routledge and Kegan Paul, 1972.
12. KING, A.; BROWNELL, J. *The curriculum and the disciplines of knowledge.* New York, Wiley, 1966.
13. RITCHIE, B. Physics. Dans: Whitfield, R. (dir. publ.), *Disciplines of the curriculum,* p. 127. Maidenhead, McGraw-Hill, 1971.

Bibliographie annotée

BRAGG, L. *Ideas and discoveries in physics.* London, Longman, 1970. 64 p. (Longman Physics Topics.)

Bien que cet opuscule ne traite que de la physique et de la mécanique céleste, il offre un exposé fort intéressant de l'histoire du développement de la science.

BRONOWSKI, J. *The ascent of man,* London, BBC, 1973.

Cet ouvrage superbement illustré a été réalisé dans la foulée de l'émission de télévision portant le même titre. Il traduit bien l'intérêt passionné de l'auteur pour les sciences et le développement de la civilisation. Il est, en outre, très séduisant sur le plan esthétique.

ENNEVER, L.; HARLEN, W. (coordonnateurs). *With objectives in mind.* London, Macdonald Educational, 1975. 65 p. (Schools Council Science 5/13.)

Bien que spécialement conçu pour Science 5/13, ce livre mérite d'être lu par tout professeur de sciences. Les auteurs expliquent pourquoi ils croient que la programmation de l'enseignement devrait commencer par la définition des objectifs, et leur exposé ne s'encombre pas de tout un «jargon» éducatif.

FAURE, E.; *et al. Apprendre à être,* chap. 6 Paris, Fayard/Unesco, 1972.

Bien que les auteurs déclarent qu'il y a, en matière d'éducation, autant d'options qu'il existe de sociétés, de phases historiques et d'idéologies dominantes, ils ont néanmoins identifié un certain nombre de finalités de l'enseignement communes à toutes. La lecture de ce chapitre permet de mieux comprendre le rôle de la formation générale dans le développement équilibré de l'homme.

HINTON, K.; MAY, J. (coordonnateurs). *The place of science in environmental education.* United Kingdom Association for Science Education, 1973, 17 p.

Cette publication, qui fait partie de la série d'études de l'ASE, est le rapport d'un groupe de travail, composé de professeurs, sur un projet de cours pour l'étude de l'environnement. Ce rapport est riche d'enseignements pour tous les éducateurs, particulièrement dans la définition des buts et objectifs et dans le choix des concepts scientifiques retenus par le groupe.

JENKINS, E.; WHITFIELD, R. (dir. publ.). *Readings in science education.* London, McGraw-Hill, 1974, 132 p. (Science Teacher Education Project.)

Cet ouvrage est un ensemble de textes abordant tous les thèmes susceptibles d'intéresser le professeur de sciences, présentés de manière à stimuler le jugement critique. Le chapitre 1, consacré à la nature de la science, et le chapitre 2, qui traite de la place de la science dans l'éducation, se rapportent plus particulièrement au présent chapitre, mais l'ouvrage tout entier est une mine d'idées pour ceux qui s'interrogent sur leur rôle en tant que professeurs de sciences.

SCIENCE TEACHER EDUCATION PROJECT. *Activities and experiences.* London, McGraw-Hill, 1974.

Plus qu'un livre, il s'agit là d'une «banque» d'activités dans laquelle le formateur de futurs enseignants peut puiser. Les sections qui se rapportent plus directement à notre chapitre sont le «Sujet 1 : buts et objectifs» et le «Sujet 2 : la nature de la science et l'enquête scientifique». Le professeur d'école normale ou d'université trouvera là matière à de nombreuses réflexions et discussions avec ses étudiants.

SUTTON, C.; HAYSOM, J. (dir. publ.). *The art of the science teacher.* London, McGraw-Hill, 1974. (Science Teacher Education Project.)

Le chapitre 1 : «Buts et objectifs», par R. C. Whitfield, et le chapitre 2 : «La nature de la science et l'enquête scientifique», par D. A. Tawney, proposent une réflexion approfondie sur les sujets présentés dans *Activities and experiences,* du même STEP.

UNESCO. *Nouveau manuel de l'Unesco pour l'enseignement des sciences.* Paris, Unesco, 1974. 299 p.

Dans ce livre, le professeur trouvera un grand nombre d'idées d'expériences à faire faire par les enfants. Ces idées étant proposées sans commentaire, le professeur devra les relier à des objectifs mûrement réfléchis, afin de savoir pourquoi il sélectionne telle activité et comment il va la présenter. Cet ouvrage est un manuel et non pas un livre du maître.

WATSON, J. D. *The double helix.* Weidenfeld and Nicolson, 1968.

Un récit passionnant de la découverte de la structure de la molécule ADN, par l'un des savants qui ont participé à cette découverte. Une étude de cas célèbre sur la méthode de travail des scientifiques, et un livre qui se lit comme un roman policier.

WHITFIELD, R. C. (dir. publ.) *Disciplines of the curriculum.* Maidenhead, McGraw-Hill, 1971.

Les chapitres 10, 11 et 12 traitent de la nature de la physique, de la chimie et de la biologie, et pris ensemble, ils offrent une réflexion utile sur la nature de la science.

Chapitre 2
Le développement de l'enfant

Introduction

Est-ce que les cours de sciences produisent exactement le résultat que vous avez escompté? Pouvez-vous toujours prévoir les réactions des élèves dans chaque situation? Il y a de fortes chances pour que les réponses à ces questions soient négatives, même si elles sont posées à des enseignants très expérimentés. Si les cours de sciences ont ce caractère imprévisible, c'est parce que les élèves diffèrent les uns des autres et qu'ils ne sauraient réagir tous de la même manière dans chaque situation. En outre, à mesure que les enfants grandissent, ils se développent sur le plan physique, intellectuel et affectif. Le développement intellectuel et affectif est cependant différent du développement physique qui voit le corps grandir et les muscles et os se fortifier. Sur le plan intellectuel et affectif, le développement de l'enfant passe par une série de stades, son mode de penser et d'agir changeant d'un stade à l'autre. Dans chaque classe, les élèves en sont à différents stades de développement. Leur façon de penser et d'agir diffère d'un individu à l'autre, ainsi que de celle des adultes.

Dans le présent chapitre nous montrerons comment on peut utiliser la connaissance du développement intellectuel et affectif de l'enfant pour résoudre certains problèmes que rencontrent les professeurs de sciences. L'exemple ci-dessous illustre deux problèmes courants, liés au développement de l'enfant, susceptibles de surgir dans un cours de science typique.

Supposons qu'un groupe d'élèves âgés d'environ 11 ans exécutent l'activité 2.56 du Nouveau manuel de l'Unesco pour l'enseignement des sciences. *Dans cette activité, les élèves dissolvent du permanganate de potassium dans l'eau pour produire une solution de couleur violette. Ensuite, ils diluent cette solution en y ajoutant*

neuf fois son volume d'eau pour produire une solution «puissance 10». Puis ils diluent une partie de cette solution dix fois, et ainsi de suite jusqu'à ce que la couleur violette devienne si pâle qu'elle ne soit plus visible. Cette activité peut facilement entraîner les difficultés suivantes:

Tandis que beaucoup d'élèves exécutent l'opération avec un intérêt évident et cherchent à voir ce que provoquent les dilutions répétées, d'autres ne font qu'imiter leurs camarades.

Certains élèves continuent à diluer même lorsque l'eau n'est visiblement plus colorée, ils semblent ignorer les changements qui se sont produits.

Lorsque, après avoir discuté de l'opération, on demande aux élèves ce qu'ils ont appris, beaucoup d'entre eux répondent simplement qu'ils ont vu la couleur disparaître. Peu d'entre eux déclarent que les particules de permanganate de potassium doivent sûrement être minuscules puisqu'il en reste toujours quelques-unes malgré les dilutions répétées.

Cette activité poserait probablement moins de problèmes à des élèves plus âgés. Les problèmes de ce genre, que tous les enseignants ont rencontrés, ne signifient pas nécessairement que les enfants sont de mauvais élèves ou qu'ils sont paresseux ou lents d'esprit. Les difficultés en question correspondent souvent à une caractéristique normale du stade de développement de l'élève. Par exemple, le premier problème évoqué peut survenir lorsque les réactions de curiosité et d'originalité de l'enfant ne sont pas bien développées ou lorsqu'il n'est pas suffisamment motivé. Dans le deuxième cas, la plupart des élèves âgés de 11 ans ne pourront tirer de conclusions que sur des phénomènes qu'ils ont pu observer directement. Ils auront du mal à saisir des concepts plus abstraits tels que la dimension de particules invisibles.

Les principaux buts de ce chapitre sont de vous aider à:

1. Mieux comprendre les modes de développement de la pensée et de l'affectivité des élèves;
2. Identifier le stade de développement qu'a atteint l'élève;
3. Mettre au point des expériences d'apprentissage adaptées aux capacités de l'élève;
4. Utiliser votre compréhension du développement des élèves pour améliorer votre efficacité en tant qu'éducateur.

Le développement intellectuel

Les stades du développement

C'est au psychologue suisse Jean Piaget que nous devons une bonne partie de nos connaissances sur le développement de la pensée de l'enfant. Les expériences qu'il a faites lui ont permis de classer la pensée des enfants selon une succession de stades. A chaque stade correspond un mode de penser ayant ses caractéristiques propres. D'autres chercheurs ont constaté que, dans bien des pays différents, tous les enfants passent par les mêmes stades intellectuels. Ces stades sont identifiés dans le schéma ci-dessous. Les chiffres indiquent l'âge approximatif auquel on commence à déceler chez l'enfant les caractéristiques qui correspondent au stade considéré. (Nous en dirons plus loin davantage sur la variation des rythmes de développement; aussi convient-il de considérer les âges indiqués de façon globale. Remarquons cependant que les âges indiqués pour la pensée opératoire formelle sont probablement trop bas pour la plupart des enfants.)

1. Période de l'intelligence sensori-motrice *0 à 2 ans*
2. Période de l'intelligence représentative:
   a. Sous-stade préopératoire *2 à 7 ans*
   b. Sous-stade opératoire (souvent appelé «stade des opérations concrètes») *7 à 11 ans*
3. Période de la pensée opératoire formelle:
   a. Sous-stade combinatoire *11 à 15 ans*
   b. Sous-stade d'instruction[1] *à partir de 15 ans*

Selon Piaget, la pensée et l'action de l'enfant relèvent toujours d'une organisation ou d'une structure. Même les mouvements d'un enfant en bas âge qui saisit un jouet ou cherche le sein de sa mère sont liés entre eux selon des modes propres à son stade de développement. A mesure qu'il grandit, il interprète constamment tout ce qu'il voit, sent ou entend, en fonction de la structure mentale qui lui est propre. Celle-ci change constamment à la suite des nouvelles expériences auxquelles il est exposé. A chaque stade, le développement intellectuel dépend de la structure mentale de l'enfant et de la façon dont il réagit à chaque nouvelle expérience et l'interprète.

Période sensori-motrice. Pendant la période de l'intelligence sensori-motrice, l'univers intellectuel de l'enfant se limite à accumuler une série d'actions qu'il exerce sur les objets. Elles l'amènent peu à peu à comprendre qu'un objet continue à exister même s'il ne joue pas avec

1. Appelé aussi «d'exécution», «de réussite», «de performance».

ou s'il ne le regarde pas. Une autre caractéristique importante de ce stade est que l'enfant prend conscience qu'il peut décider d'entreprendre une action qui produira un résultat voulu. En tirant sur une ficelle, par exemple, il peut amener un jouet vers lui. Il se rend compte aussi que les événements peuvent avoir une cause autre que ses propres actions.

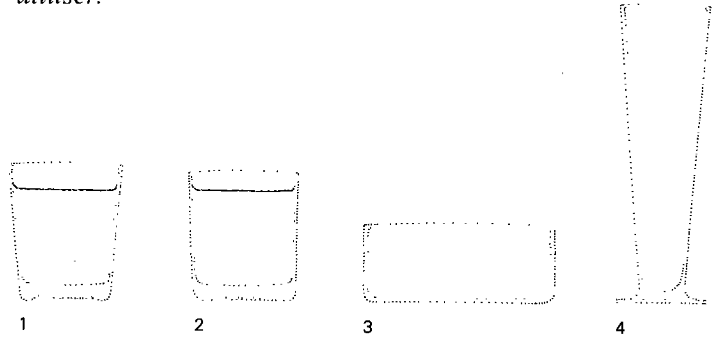
L'intelligence représentative. Au cours de la période suivante, qui dure une dizaine d'années, l'enfant développe la capacité de représenter les choses par des symboles, comme le langage et les images mentales. Il développe également les opérations de la pensée. Celles-ci ont encore, comme point de départ, les actions de l'enfant mais, lors du stade de la pensée préopératoire, elles passent des actions directes propres à la période sensori-motrice à des actions qui impliquent des modifications telles que l'assemblage, la séparation, la mise en ordre et le classement. Dès l'âge de 7 ans environ, au début du stade des opérations concrètes, les opérations de l'intellect se coordonnent de façon à permettre à la pensée d'accroître sa souplesse et sa portée. Avant d'atteindre ce stade, la pensée de l'enfant a été freinée par sa tendance à appréhender la réalité extérieure par rapport à son propre corps, à ses propres actions et sentiments.

La description des deux exercices suivants, qu'on peut proposer à de jeunes enfants, démontre combien les réponses changent d'un stade de développement à un autre. Chaque activité sera décrite en même temps que les réponses propres aux sous-stades préopératoire et opératoire. Si vous pouvez exécuter vous-même ces exercices avec plusieurs enfants dont l'âge s'échelonne de 5 à 10 ans, vous comprendrez mieux le caractère imprévisible de leurs réponses. Celles-ci illustreront également les caractéristiques de la pensée propre à ce stade de développement.

Exercice 1 : Transvasement de liquide

Présentez aux enfants deux récipients identiques, des verres à boire par exemple, remplis de la même quantité d'eau ou de boisson colorée. Ajustez les niveaux jusqu'à ce que l'enfant soit convaincu qu'ils sont identiques dans les deux récipients. Versez ensuite le liquide contenu dans l'un des récipients dans un troisième récipient plat et large ou dans un bol. Puis demandez à l'enfant lequel des récipients contient davantage de liquide, ou bien s'ils en contiennent tous deux la même quantité. Demandez-lui aussi comment il le sait. Reversez le liquide dans le premier récipient. Présentez à l'enfant un bocal mince et allongé et demandez-lui d'indiquer quel serait ici le niveau du liquide si on le transvasait de l'un des deux premiers verres. Puis versez le liquide et posez les mêmes questions qu'avant.

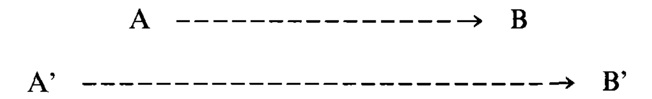
La figure ci-dessous donne une idée des récipients qu'on peut utiliser.



a. *Verser de 2 dans 3, puis reverser dans 2.*
b. *Indiquer le niveau du liquide si on le versait de 2 dans 4.*
c. *Verser de 2 dans 4.*
Des enfants plus âgés se rendront immédiatement compte que la quantité d'eau reste constante malgré tous ces changements, et donneront des raisons comme: «C'est la même eau. Vous n'en avez rien enlevé et vous n'y avez rien ajouté.» Ils diront peut-être que la quantité d'eau a diminué à cause du transvasement, mais montreront les gouttes qui restent dans le premier récipient. Des enfants plus jeunes seront tout aussi convaincus que la quantité d'eau a changé lorsqu'on l'a versée dans un récipient de forme différente. Certains diront que le récipient large contient moins d'eau parce qu'il est plus plat; d'autres affirmeront qu'il en contient plus, parce qu'il est plus large. On peut également observer un stade intermédiaire où l'enfant résoudra une partie du problème, pour s'embrouiller ensuite et ne pas parvenir à résoudre le reste.

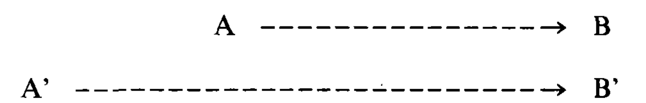
Exercice 2: Le temps et la vitesse

Pour cet exercice, il faut deux autos d'enfant ou deux petites poupées. Les autos ou poupées font la course comme sur la figure ci-dessous. Elles partent des points A et A' au même moment, le départ étant indiqué par un clic ou un son identique. L'une des autos avance plus vite que l'autre, et les deux arrivent aux points B et B' au même moment, indiqué aussi par un clic.



Posez aux enfants des questions comme celles-ci:
Les autos ont-elles démarré en même temps?

Se sont-elles arrêtées en même temps?
Ont-elles toutes deux parcouru la même distance?
L'une des autos s'est-elle déplacée pendant plus longtemps que l'autre?
On peut également poser la dernière question lorsque les parcours des deux voitures sont tels que les points B et B' se trouvent au même niveau, comme dans la figure suivante, ce qui fait qu'aucune des voitures ne dépasse l'autre.



L'enfant qui en est au stade intellectuel préopératoire refusera probablement d'admettre que les voitures s'arrêtent en même temps ou que la durée de leur course est identique. Il assurera peut-être que le parcours A'–B' a duré plus de temps et que l'auto s'est arrêtée plus tard. Si cette auto dépasse l'autre, comme dans la première figure, il se rendra probablement compte qu'elle avance plus vite. Dans le second cas, où l'auto plus rapide ne dépasse pas l'autre, il y a de fortes chances pour que l'enfant déclare que les deux voitures ont la même vitesse. Ces erreurs disparaissent vers le milieu du stade opératoire ou stade des opérations concrètes.

Les réactions à ces exercices illustrent quelques-unes des limites de la pensée préopératoire. A ce stade, l'enfant raisonne en fonction de chaque cas particulier et peut ne pas être conscient que ses conclusions sont contradictoires. Elles peuvent aussi contredire ses observations, comme lorsqu'il refuse d'admettre que les voitures s'arrêtent en même temps. Les apparences visuelles l'induisent souvent en erreur parce qu'il s'occupe d'un seul aspect de la situation à la fois. C'est pourquoi il dit que la quantité d'eau versée dans un récipient de forme différente a changé. Même s'il a bien vu que la hauteur et la largeur du liquide ont changé, l'explication qu'il donne à sa réponse indique souvent qu'il n'a tenu compte que de l'un de ces changements. Dans la deuxième activité, les réponses incorrectes viennent de l'enfant qui considère uniquement les points d'arrivée de la course et omet de tenir compte à la fois de la distance et du temps.

A mesure que les structures de la pensée opératoire se développent, les enfants dépassent ces premières limites; ils développent des aptitudes à classer les objets et à les ranger en ordre ainsi qu'à comprendre les concepts des nombres, du temps, de l'espace, de la vitesse, de la causalité et du hasard. Ils se rendent également compte que

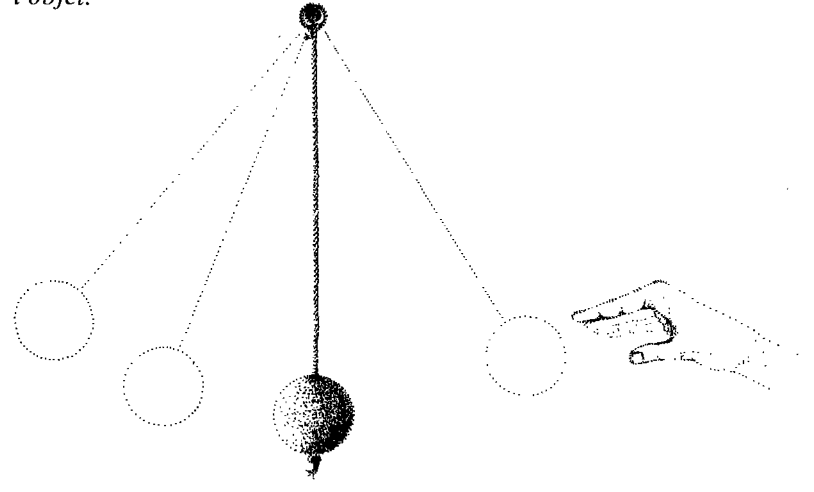
dans maints changements de situation, une caractéristique du système reste constante malgré les apparences, comme dans l'exercice qui consiste à verser l'eau. Il n'en reste pas moins qu'à ce stade, l'enfant ne peut appliquer son raisonnement qu'à ceux des objets concrets (et aux relations qui existent entre eux) qu'il a pu observer lui-même. Il faut attendre que la pensée opératoire formelle se développe pour que l'outil intellectuel de l'enfant puisse s'appliquer à des expériences qu'il n'a pas faites lui-même.

Période des opérations formelles

Exercice 3: Le pendule

Cet exercice s'adresse à des élèves plus âgés, entre 10 et 15 ans. On fournit à chaque élève un pendule, sous forme d'une ficelle dont la longueur, à partir de son point de fixation, peut varier, ainsi que plusieurs objets de poids différent qu'on peut attacher au bout inférieur de la ficelle. Considérez les facteurs qui peuvent influencer la fréquence d'oscillation (et non pas la vitesse) tels que la longueur de la ficelle, le poids de l'objet attaché, la hauteur de mise en mouvement du pendule et la force de toute impulsion qui lui est communiquée.

La figure ci-dessous illustre ces facteurs qui sont: la hauteur de chute, la force d'impulsion, la longueur de la ficelle, le poids de l'objet.



Ce qui intéresse l'observateur, c'est de voir comment l'élève s'y prend pour résoudre le problème et conclure que seule la longueur de la ficelle joue sur la fréquence d'oscillation. Ce n'est qu'au stade de la pensée opératoire formelle que l'élève se rend compte de

l'importance qu'il y a à changer un facteur à la fois en maintenant les autres constants. Ainsi peut-il vérifier l'influence de la hauteur de chute du pendule en utilisant deux hauteurs différentes mais en maintenant une ficelle de même longueur, un objet de même poids et une force d'impulsion identique. Un élève qui n'a pas encore atteint ce stade intellectuel fera vraisemblablement des essais sans isoler les diverses variables. Par exemple, il utilisera des hauteurs de chute différentes, mais aussi diverses longueurs de ficelle. Cela ne lui permettra pas de vérifier si les deux facteurs ou seulement l'un d'entre eux déterminent l'une quelconque des différences observées. Les aptitudes associées à la pensée opératoire concrète ne sont pas adaptées à des problèmes de ce genre.

Arrivée au stade des opérations formelles, qui commence généralement pendant l'adolescence, la pensée recourt aux mêmes opérations mentales qui existaient déjà au stade des opérations concrètes mais qui sont maintenant intégrées à de nouvelles structures intellectuelles. Celles-ci permettent à l'individu de raisonner sans se référer directement à des objets concrets. Il peut tirer des conclusions à partir d'assertions probabilistes et non plus de simples observations de la réalité; il peut envisager plusieurs possibilités simultanément et les combiner entre elles; il peut prendre en considération les relations existant entre relations, telles les proportions. Lorsqu'il s'agit de traiter plusieurs variables, il n'est pas contraint de les considérer l'une après l'autre, à l'inverse de ce qui se passe au stade des opérations concrètes. Il est capable d'annuler, expérimentalement ou mentalement, l'effet des autres facteurs tout en changeant systématiquement l'un d'entre eux pour déterminer son influence, comme le requiert l'exercice 3.

Variabilité des degrés de développement. Dans les sections qui précèdent, nous avons exposé dans leurs grandes lignes les modes de développement de la pensée. Plus loin (p. 67, «Du diagnostic à la conception d'expériences d'apprentissage»), nous décrirons plus en détail les différents types d'aptitudes qui correspondent à chaque stade de la pensée et nous établirons leurs rapports directs avec les cours de sciences. Cependant, l'application de ces idées dans la pratique sera compliquée par deux aspects du développement: *a*) pour un individu, le passage d'un stade intellectuel à un autre se fait progressivement et non pas d'un seul coup; *b*) le rythme de développement varie d'un individu à l'autre.

Tout d'abord, les individus n'atteignent pas d'un seul coup un stade déterminé de la pensée, mais ils développent, sur une durée de plusieurs années, une série d'aptitudes associées à ce stade. La solution des

exercices 1 et 2 ci-dessus requiert une pensée opératoire concrète. Néanmoins, l'enfant qui a trouvé la solution de l'exercice 1 mettra deux ans ou plus avant de pouvoir résoudre l'exercice 2. Même une aptitude comme la classification, une fois développée, sera appliquée plus facilement dans une situation donnée que dans une autre, selon que l'enfant est familiarisé avec le matériel à sérier et s'y intéresse, ou non. Ainsi, lorsque nous disons qu'un individu a atteint le stade de la pensée opératoire concrète (ou formelle), nous entendons par là qu'on voit se manifester chez lui, surtout, les aspects intellectuels qui caractérisent ce stade. Dans certains domaines de la pensée, il peut se situer à un stade différent.

Non seulement l'individu passe progressivement d'un stade à l'autre, mais le rythme et le mode de développement varient d'un individu à l'autre. On ne connaît pas les raisons précises de ces différences, mais elles dépendent de la nature des expériences physiques et sociales de l'enfant. Par exemple, on croit généralement que la pratique de la manipulation et de la transformation de toutes sortes de matériaux favorise le développement intellectuel. Le milieu culturel dans lequel l'enfant est élevé influe également sur ce développement. Au travers des observations et de l'instruction transmises par les membres plus âgés de la société, l'enfant assimile les croyances, les valeurs, et accepte les modes de comportement de la société. Il y a de fortes chances que ces influences l'amènent à interpréter un problème, et donc à y réagir, en fonction du conditionnement culturel qu'a subi le cheminement de sa pensée. Il arrive même que l'enseignant averti des structures de la pensée de l'enfant soit pris au dépourvu par les réponses de ses élèves, dont le mode de penser influence parfois les réponses de manière inattendue. L'enseignant risque alors de mal interpréter la réponse de l'élève, à moins qu'il ait soin de découvrir la raison qui a motivé la réponse. Par exemple, en Sierra Leone, Kamara a donné à des enfants temné des boules de plasticène identiques, représentant des portions identiques de gâteau de riz. Si l'on demandait à l'un des enfants de partager l'une des boules avec un autre enfant plus âgé, il disait qu'elle contenait plus à manger que les autres, car dans la culture temné, la distribution équitable de la nourriture implique que l'aîné reçoive une part plus grande. Ici, le concept d'égalité a été interprété en fonction de la culture traditionnelle.

S'il est vrai que les enfants de certains milieux socio-culturels se développent, dans l'ensemble, plus vite que les enfants d'autres milieux, il n'en reste pas moins que leur passage d'un stade à l'autre suit la même progression. Il n'existe aucun principe qui permette à l'éducateur de prévoir, sur la base exclusive du milieu, qu'un élève progressera plus vite qu'un autre. Par contre, on peut dire que lorsque les élèves d'une classe sont issus de milieux différents, ils ne seront pas

tous au même stade de développement mais présenteront une diversité d'aptitudes même s'ils ont à peu près le même âge. Dans une classe où les âges sont très variés, la gamme des aptitudes sera probablement plus large que dans une classe homogène de ce point de vue, mais pas beaucoup plus. En effet, le développement intellectuel dépend aussi bien du nombre d'années que l'enfant a passées à l'école que de son âge. Autrement dit, un élève de 14 ans dans sa sixième année scolaire aura vraisemblablement des aptitudes plus proches de celles d'un élève âgé de 11 ans dans sa sixième année scolaire que de celles d'un autre élève de 14 ans qui en est à sa neuvième année scolaire.

Autres théories de l'intelligence. Outre la théorie de Piaget sur le développement intellectuel, il existe d'autres théories sur la nature et le développement de l'intelligence et sur les processus de l'apprentissage. Mais seules quelques-unes d'entre elles ont des rapports directs avec l'enseignement des sciences.

Le psychologue Jerome Bruner a beaucoup écrit sur l'éducation. Ses idées s'apparentent à celles de Piaget en ce qu'il considère que l'intelligence se développe en passant par une série de stades. Mais Bruner met davantage l'accent sur les processus intellectuels et souligne le rôle du langage. Il définit trois manières dont l'individu manifeste ou se représente ses connaissances, à savoir par l'action, par l'image ou par le symbole, qui se développent dans un ordre similaire à celui des stades de développement intellectuel de Piaget. Cette théorie implique que l'apprentissage de l'enfant se fait probablement dans des conditions optimales lorsque les matières lui sont présentées sous des formes qui correspondent à son stade de développement. Ainsi, l'enfant qui a atteint le second stade apprend grâce à ses propres actions et perceptions, et reproduit ce qu'il a appris par des actions et des images visuelles. Le recours au langage, qui est symbolique, vient plus tard.

La plupart des autres contributions importantes apportées à la psychologie de la pensée émanent de personnes plus spécifiquement concernées par l'éducation. Le plus souvent, ces théories portent sur les processus d'apprentissage et sur les conditions qui favorisent celui-ci. Elles ne tiennent pas compte du développement intellectuel de l'enfant. Une bonne partie de ces travaux n'ont qu'une utilité limitée pour les professeurs de sciences, car ils ne sont applicables qu'à des tâches bien moins complexes que les exercices présentés aux élèves dans une classe de sciences.

C'est Robert Gagné qui, entre autres, a tenté de déterminer les conditions favorables à l'apprentissage de tâches complexes. Selon lui, la capacité d'apprentissage d'un individu dépend des connaissances qu'il a déjà acquises. Il distingue huit types différents d'apprentissage et les classe dans un ordre qui va du plus simple au plus complexe. A

chaque niveau, l'apprentissage dépend du degré d'assimilation de toutes les matières correspondant aux niveaux précédents. En principe, on peut analyser toute tâche en fonction de toutes les étapes d'apprentissage qui doivent précéder l'étape finale. Cette analyse peut être très complexe, même lorsqu'il s'agit de tâches relativement simples; mais la théorie de Gagné est utile en ce qu'elle nous rappelle qu'on peut simplifier les problèmes posés en les décomposant, et en s'assurant que les élèves ont bien compris les idées fondamentales avant de procéder à des tâches plus complexes.

Piaget estime que l'apprentissage dépend des actions de l'enfant lui-même; ainsi, l'apprentissage par de simples formulations verbales n'aura probablement aucune efficacité tant que l'élève n'aura pas atteint le stade des opérations formelles. Par contre, David Ausubel prétend que l'apprentissage peut se passer de l'activité, qu'il est effectif et efficace tant au niveau des enfants que des adolescents lorsqu'on n'utilise que des méthodes verbales. Selon Ausubel, l'apprentissage verbal devient effectif à partir du moment où il est possible d'incorporer de nouvelles idées à une structure de pensée déjà formée par un apprentissage précédent. Il définit les rapports indispensables entre le nouvel apprentissage et la structure déjà acquise. En gros, il estime qu'il faut d'abord présenter à l'élève les principes généraux, et ensuite des informations particulières plus détaillées. L'élève assimilera bien ces informations s'il peut en établir facilement les rapports avec les principes généraux qu'il a déjà assimilés. Au niveau de la pensée opératoire formelle, ces idées sont compatibles avec celles de Piaget.

Nous avons encore beaucoup à apprendre sur la pensée de l'enfant; mais à ce stade, la théorie de Piaget apparaît plus utile que d'autres du point de vue de son application à l'enseignement des sciences. Il n'existe aucune autre théorie relative à l'intelligence de l'enfant qui soit aussi complète et dont les principaux aspects, du moins, reposent aussi solidement sur des expériences menées dans plusieurs parties du monde. La suite de ce chapitre sera largement consacrée aux moyens d'appliquer les idées de Piaget afin d'améliorer l'efficacité de l'enseignement des sciences.

Le développement affectif

Le rôle du développement affectif dans l'enseignement des sciences est moins évident que celui du développement intellectuel. Mais rares sont les actions ou les pensées purement intellectuelles: elles ont pratiquement toutes un contenu affectif. Dans le présent exposé, nous emploierons le terme «affectivité» dans un sens très large pour y inclure

les attitudes, les sentiments, les valeurs et les motivations qui influent toutes sur l'apprentissage de l'élève et sur la manière dont il utilise ses connaissances. De plus en plus d'éducateurs en arrivent à comprendre l'importance de ces facteurs affectifs dans l'éducation. Il n'en reste pas moins qu'il est bien plus difficile de décrire le développement affectif de l'enfant avec autant de logique et de précision que son développement intellectuel. Cela vient en partie de ce que les comportements affectifs sont beaucoup plus nombreux et plus variés que les comportements intellectuels. En outre, un grand nombre de théories sont basées sur l'analyse d'individus aux caractéristiques extrêmes, et l'on a rassemblé très peu de données de façon systématique sur un nombre important d'enfants. C'est pourquoi les théories sur le développement affectif sont plus conjecturales encore que les théories sur le développement intellectuel, et pourquoi il est plus difficile de les évaluer et de les appliquer en classe.

Étant donné que tout comportement est d'ordre à la fois affectif et intellectuel, nous devrions préférer une théorie du développement affectif qui ait quelques rapports avec ce que nous savons du développement de l'intellect. Cela nous permettra également de comprendre l'enfant dans sa totalité au lieu de n'en saisir qu'un aspect. A l'heure actuelle, il n'existe pas de théories détaillées qui répondent à cet impératif et dont nous puissions dégager des idées utiles pour l'enseignement des sciences. La contribution de Piaget dans ce domaine est relativement mince, encore qu'il ait clairement défini ce qu'il pense être la nature générale du développement affectif et les rapports de celui-ci avec l'intellect. C'est Laurence Kohlberg qui a élargi les idées fondamentales de Piaget sur le développement moral.

Selon Piaget, on peut dissocier l'affectivité de l'intellect pour faciliter le débat, mais dans la réalité, ils sont inséparables. Ils évoluent ensemble et sont interdépendants. L'affectivité est la force motrice du comportement, tandis que l'intellect fournit la structure qui rend possibles certains types de réactions affectives (entendues au sens large du terme comme ci-dessus).

L'esquisse qui suit des idées de Piaget est présentée de façon à indiquer le contenu affectif correspondant à chacun des stades du développement intellectuel. Cela doit aider le lecteur à comprendre que les sentiments et l'intellect reposent sur la même structure ou organisation sous-jacente à chaque stade du développement.

Période sensori-motrice. Au fur et à mesure que l'enfant devient conscient de l'existence permanente des objets et des causes extérieures des événements, son affectivité s'oriente vers d'autres personnes et objets.

Période de l'intelligence représentative. Avec le développement du langage et des images mentales, il n'est plus nécessaire que l'objet de

l'affectivité soit présent, et l'enfant devient donc capable d'établir des relations à long terme. Au cours du stade préopératoire, lorsque l'enfant ne considère les choses que de son propre point de vue, il prend de plus en plus conscience de lui-même en tant qu'individu, ce qui aboutit à une résistance et à des conflits avec l'entourage. Comprendre le point de vue des autres, ce qui est nécessaire à une véritable collaboration, requiert les structures des opérations concrètes. Au stade de la pensée préopératoire, l'enfant se sent obligé d'obéir aux règles dictées par ceux qui exercent l'autorité sur lui, ses parents par exemple. Il est fort probable que les valeurs et obligations morales sont déterminées par le degré de conformité des actions aux règles plutôt que par les intentions de l'individu. Au niveau des opérations concrètes, le comportement des élèves se conformera surtout aux conventions et aux attentes des autres.

Période des opérations formelles. L'univers des valeurs des élèves ne se limite plus à la réalité concrète, il repose maintenant sur des idées telles que la justice ou l'applicabilité universelle. Les valeurs de l'individu peuvent s'appliquer à une plus vaste gamme de possibilités sociales et influer sur ses projets futurs.

Variabilité des degrés de développement. Les matériaux dont on dispose actuellement indiquent que, tout comme dans le développement intellectuel, le rythme du développement affectif est variable selon les individus. Le développement des jugements moraux, lui, peut avoir du retard par rapport aux capacités intellectuelles de l'individu, mais il ne les devancera probablement jamais. Les témoignages relatifs à l'influence des facteurs sociaux et culturels sur le développement affectif ne sont guère concluants.

Implications en matière d'enseignement des sciences

Ayant esquissé une théorie sur le développement intellectuel et affectif de l'enfant, nous allons maintenant voir comment on peut appliquer ces idées dans la classe de sciences. Il faut, tout d'abord, bien voir le problème: une théorie psychologique décrit le développement de l'enfant alors que la pratique pédagogique requiert des directives sur les moyens d'atteindre certains objectifs. Ces directives ne procèdent pas automatiquement de la théorie, encore que les deux doivent aller de pair. Il faut vérifier expérimentalement chaque proposition de pratique pédagogique afin de voir ses effets. La plupart des méthodes pédagogiques tirées de diverses théories, dont celles de Piaget, ont été testées, mais elles n'ont pas fait l'objet de vérifications systématiques. C'est

pourquoi il faut considérer les idées que nous allons exposer comme des suggestions et non comme des recettes.

Beaucoup d'entre elles émanent d'auteurs autres que Piaget et ses disciples, mais Piaget est le seul à avoir proposé un cadre général qui permet de considérer tous les aspects de l'enseignement des sciences. Nous présentons ces suggestions avec la certitude qu'elles seront utiles aux enseignants soucieux de former des individus autonomes et créateurs qui ne se bornent pas à imiter les actions des autres.

L'exposé des pratiques éducatives sera divisé en deux parties. La première traitera du cadre de l'apprentissage, c'est-à-dire des conditions d'ensemble qui existent dans une classe et qui favorisent le développement intellectuel. Dans ce domaine, Piaget a tiré lui-même de ses analyses psychologiques des conclusions en matière de pratique éducative. Dans cette partie, nous examinerons aussi bien les facteurs intellectuels qu'affectifs, en mettant toutefois l'accent sur les premiers, non parce qu'ils sont plus importants mais parce que nous en savons beaucoup plus sur les facteurs intellectuels du comportement de l'enfant. La deuxième partie portera sur le contenu du cours de sciences: Que peut-on enseigner? A quel moment? Comment?

Le cadre de l'apprentissage

Il ne faut pas sous-estimer l'importance du cadre de l'apprentissage. Des études menées par les résultats des élèves en classe de sciences prouvent que le cadre de l'apprentissage est généralement plus important que d'éventuelles modifications du programme. Nous savons bien que certaines de nos recommandations ne sont pas faciles à suivre dans un système scolaire où les enseignants doivent respecter un programme obligatoire très chargé. Mais même si les enseignants sont soumis à cet impératif, ils devraient pouvoir tirer profit de ces idées.

Nécessité de recourir à des méthodes actives. La capacité d'apprentissage de l'élève dépend de son stade de développement intellectuel. Jusqu'au stade de la pensée opératoire formelle qui survient généralement pendant l'adolescence, l'intellect de l'enfant est tributaire de ses interactions avec l'entourage. Les connaissances ne sont pas transmises à l'élève, mais il les acquiert en les restructurant pour lui-même par sa propre activité. Nous enlevons à l'enseignant sa position traditionnelle de source de savoir et lui attribuons une fonction plus importante. Il lui appartient en effet d'organiser des activités adéquates et de poser des questions qui inciteront l'élève à approfondir ses conclusions initiales. L'expérimentation doit constituer une partie importante de l'activité. C'est l'enseignant qui va probablement fournir le problème et les

matériaux, mais il faut laisser l'élève libre de s'attaquer au problème comme bon lui semble. Dès lors, le rôle de l'éducateur consistera à observer, à questionner et non à diriger l'activité de l'élève. En général, l'approche démonstrative ou celle qui consiste à suivre des procédures d'expérimentation préétablie ne sont pas des moyens d'apprentissage aussi efficaces. Il est possible que l'élève ne comprenne pas les diverses étapes du processus parce qu'il n'a pas eu à les découvrir par lui-même. Une des clefs de la réussite sera de choisir les problèmes et les objectifs en fonction des aptitudes de l'élève. Nous en reparlerons dans les sections suivantes. Pour permettre à chaque élève de poursuivre l'action selon son propre rythme, il faudra adapter la conduite et l'organisation des cours à l'individu plutôt qu'au groupe en tant qu'entité.

Parvenu au stade de la pensée opératoire formelle, l'élève peut se passer de l'expérience personnelle pour alimenter sa pensée. Toutefois, dans beaucoup de cas, il comprendra mieux le problème posé s'il commence par des expériences concrètes avant de passer aux problèmes abstraits.

Comment stimuler la motivation? On peut distinguer deux types de motivations: la motivation extrinsèque, qui est communiquée à l'individu par le monde extérieur, et la motivation intrinsèque, qui est engendrée à l'intérieur de l'individu. A l'école, la motivation extrinsèque se traduit généralement par des récompenses et des punitions qui sanctionnent certains types de comportements, lesquels varient d'ailleurs considérablement d'une société à l'autre. La motivation intrinsèque implique en partie que l'individu s'efforce de satisfaire ses besoins. Certains besoins sont plus importants que d'autres. Pour la plupart des gens, la confirmation de l'amour-propre, résultant par exemple de l'approbation d'une tâche accomplie ou du sentiment d'appartenir à un groupe, est un besoin important. Piaget s'intéresse plus particulièrement aux facteurs qui motivent l'activité intellectuelle. Il affirme que l'intellect ne fonctionne que pour fonctionner. C'est ainsi que la satisfaction de la curiosité et de l'intérêt représente une motivation intrinsèque de l'activité intellectuelle. Le meilleur moyen de stimuler la curiosité, l'intérêt ou le plaisir chez les élèves, c'est de leur fournir des occasions de répondre à ces besoins, car les motivations intrinsèques de ce genre s'imposent et persistent généralement plus que les motivations extrinsèques, qui se limitent le plus souvent à obtenir de bonnes notes ou à éviter les punitions. Parler de cet autorenforcement de la motivation intrinsèque, c'est dire que plus on en a, plus on en veut.

Plusieurs aspects du cadre de l'apprentissage peuvent contribuer à stimuler les motivations intrinsèques. Le principal d'entre eux consiste à fournir à l'élève de nombreuses possibilités de participation personnelle, non seulement à l'exécution d'une activité mais aussi au choix et

à la planification de ce qu'il veut faire. Cet «engagement» actif est à la fois physique, intellectuel et social parce que les élèves discutent entre eux de leurs activités et de leurs idées. Il permettra de satisfaire les besoins des élèves et de stimuler leur motivation, mais il constitue également un aspect essentiel du développement intellectuel lui-même. Si on leur laisse le choix, les élèves choisiront des matériels et des problèmes correspondant à leurs intérêts et environnements naturels. S'agissant de décider de ce que feront les élèves, l'enseignant pourra compter chez eux sur une plus grande motivation s'il peut en appeler à leurs intérêts naturels.

S'il est vrai que beaucoup d'élèves s'intéressent activement aux exercices des cours de sciences, d'autres restent néanmoins passifs et, pour peu que l'enseignant s'oriente vers l'apprentissage traditionnel par imitation ou qu'on n'encourage par les enfants à poser des questions aux adultes, cette passivité risque de se voir renforcée par certains aspects de leur culture. Une éducation antérieure qui aurait fait des élèves de simples récepteurs de l'information, peut elle aussi favoriser la passivité, surtout parmi ceux qui ont été longtemps soumis à ce genre d'éducation. Les enseignants eux-mêmes peuvent éprouver des difficultés à rompre avec les modèles traditionnels de l'enseignement et douter de l'aptitude de leurs élèves à développer de nouveaux intérêts et une motivation plus puissante. Mais les enseignants qui ont utilisé de nouvelles méthodes y ont généralement trouvé leur compte ; ils se sont aperçus que les élèves possèdent un potentiel d'initiative et d'imagination bien supérieur à ce qu'ils avaient envisagé. Voici un extrait du rapport d'une enseignante d'une classe de 6e en Sierra Leone qui avait emmené ses élèves explorer une plage des environs: «Après une semaine de travail... je me suis rendu compte que les enfants peuvent apprendre beaucoup de choses lorsqu'ils sont livrés à eux-mêmes. Ils n'attendaient plus que je leur donne des instructions. Chaque groupe de quatre enfants avait choisi un chef et ils notaient chaque jour tout ce qu'ils faisaient.

»A ce stade, ils se mirent à poursuivre leurs explorations même après les heures de classe et ils exposaient souvent leurs résultats en classe le jour suivant.

»Chaque jour, la curiosité des élèves pour l'environnement de la plage grandissait. Et chaque jour mon intérêt croissait en les voyant ainsi progresser. Très vite, ils se sont mis à observer plus attentivement les marées et les vagues, l'eau et le sable, le fleuve et bien d'autres choses.»

Cet exemple illustre plusieurs facteurs, et notamment le fait que la satisfaction de l'intérêt et de la curiosité ainsi que le plaisir renforcent la motivation non seulement chez l'élève mais aussi chez l'enseignant. Il montre aussi que les élèves possèdent effectivement la capacité

d'organiser leurs activités si on les met dans des situations où la curiosité, l'esprit d'initiative et le plaisir peuvent exercer leur pouvoir stimulant.

Importance des interactions sociales. Les interactions sociales, sous forme de discussions et de collaboration tant parmi les élèves qu'entre eux et les adultes, sont l'un des aspects des méthodes actives que nous préconisons. Selon Piaget, elles constituent, parallèlement à diverses sortes d'expériences, l'un des facteurs qui favorisent le développement intellectuel. Par exemple, elles font prendre conscience à l'enfant que son propre point de vue ne constitue pas forcément la seule solution. Lorsque d'autres points de vue sont exposés, l'élève est conduit à réfléchir davantage à ses propres conclusions. Pour favoriser ces interactions, il faut organiser les cours de sciences de façon à encourager les élèves à discuter entre eux de leurs observations et de leurs idées. L'enseignant doit respecter et mettre en application les idées de ses élèves pour les encourager à réfléchir par eux-mêmes et non pas à essayer seulement de deviner ses intentions.

Rôle du langage. Selon Piaget, le langage se développe parallèlement à l'intellect, mais le développement intellectuel ne dépend pas du langage. Cela revient à dire que le langage doit être considéré en classe comme une expression de la pensée mais non pas comme la pensée elle-même. Ainsi, ce que l'élève exprime ne traduit pas nécessairement sa pensée. Il faut que l'enseignant soit vigilant quant aux problèmes éventuels de communication ; il aura quelquefois à recourir à d'autres moyens pour sonder le degré de compréhension de l'élève.

Les valeurs et les attitudes en classe. Étant donné qu'il n'existe pas encore de théorie suffisamment détaillée sur les modes de développement des valeurs et des attitudes, nous ne pouvons faire que peu de déductions concernant l'enseignement des sciences. De même, nous ne pouvons faire que peu de généralisations en partant des recherches expérimentales et des études existantes.

Un certain nombre de chercheurs ont étudié les attitudes manifestées envers la science, comme l'intérêt, la satisfaction et le plaisir. Bien que leurs résultats ne soient pas concluants, ils tendent toutefois à corroborer les propositions suivantes :

1. Les facteurs qui influent le plus sur les attitudes des élèves sont les traits de caractère de l'enseignant et sa façon de présenter les questions.
2. L'introduction de nouveaux programmes d'enseignement n'a eu que peu d'influence sur les attitudes.
3. On favorise les attitudes souhaitées en laissant les élèves manipuler et expérimenter par eux-mêmes.

Ces conclusions militent en faveur des méthodes actives qui stimulent le développement intellectuel et provoquent les attitudes souhaitables. Elles indiquent aussi que les attitudes de l'enseignant lui-même exercent une influence importante sur les attitudes des élèves.

Les attitudes qu'on juge souhaitables dans le domaine spécifique de l'enseignement des sciences constituent une catégorie particulière. Le projet *Progress in learning science [Amélioration de l'enseignement des sciences]* énumère huit attitudes: la curiosité, l'originalité, la persévérance, la volonté de coopérer, la liberté d'esprit, l'autocritique, la responsabilité et l'autonomie. Ces attitudes se développent en même temps que l'intellect de l'élève, et leur utilisation et leur encouragement dans les cours de sciences vont sans aucun doute stimuler leur développement. On peut, par exemple, favoriser la collaboration en classe grâce à une atmosphère et une organisation qui incitent les élèves à travailler ensemble et à discuter de leurs activités, et où la participation de chaque élève est encouragée et appréciée.

Nécessité de comprendre les différences entre individus. Jusqu'à un stade avancé de l'adolescence, la pensée et les sentiments des élèves sont déterminés par des structures internes différentes de celles des adultes. Ces structures changent et se développent d'un stade à l'autre. Nous devons donc nous attendre que les différents élèves, ayant atteint respectivement des niveaux de développement différents, acquièrent les connaissances de manières différentes, parviennent à des conclusions différentes et émettent des jugements de valeur qui reposent sur des fondements différents. Si l'enseignant sait que de telles différences existent, et s'il possède une certaine connaissance des caractéristiques intellectuelles et affectives propres à chaque stade de développement, il sera à même de présenter à chaque individu des expériences et des éléments de stimulation qui correspondent à ses besoins. Une telle approche favorisera bien plus le développement et l'apprentissage de chaque élève que celle qui ne fait pas la différence entre les individus d'une classe.

Étudions le cas suivant pour illustrer deux aspects importants du développement intellectuel.

Prenons l'exemple d'un enseignant qui traitait de la germination des graines. Les élèves ont procédé à quelques essais pour déterminer les facteurs (comme l'eau, la lumière, la chaleur, etc.) nécessaires à la germination des graines et ceux qui ne le sont pas. Pour exécuter cette activité, il importait que les élèves se rendissent compte qu'il leur fallait, dans chaque cas, procéder à une expérience de contrôle pour voir si les graines germeraient en l'absence du facteur qu'ils étaient en train d'étudier. Progressivement et logiquement, l'enseignant amena l'idée d'une expérience de contrôle et fut très déçu de constater qu'un

grand nombre de ses élèves n'avaient pu concevoir des procédés de contrôle par eux-mêmes.

L'une et/ou l'autre des deux raisons psychologiques suivantes peuvent expliquer cet échec: d'abord, il se peut qu'on demande aux élèves plus qu'ils ne peuvent donner vu leur stade de développement intellectuel. C'est là probablement une source importante des difficultés d'apprentissage à l'école. Dans notre exemple, la conception d'une expérience de contrôle requiert la pensée opératoire formelle, et l'on ne peut l'exiger des élèves qui en sont encore essentiellement au stade des opérations concrètes. Que se passera-t-il si les exigences intellectuelles dépassent de beaucoup les aptitudes de l'enfant? Il y a de très fortes chances pour que sa compréhension soit imparfaite et même erronée en partie. Pour faire face aux exigences du cours, l'élève tentera probablement de mémoriser le plus de données possible, en espérant que son aptitude à reproduire des équations, des définitions et des exemples satisfera l'enseignant. Plus loin, nous reparlerons des méthodes que l'enseignant peut utiliser pour déterminer dans quelle mesure l'élève a compris le contenu d'un cours de science. L'enseignant conscient de la nécessité d'éviter que les exigences intellectuelles du cours de science ne dépassent trop les capacités de l'élève, voudra sans doute savoir comment s'y prendre dans la pratique. Dans la section intitulée «Du diagnostic à la conception d'expériences d'apprentissage» (p. 67), nous aborderons plus en détail l'une des méthodes permettant de déterminer quelles sortes d'activités correspondent à chaque stade du développement intellectuel.

La deuxième raison psychologique pour laquelle les élèves peuvent mal comprendre un sujet donné vient de ce que les chemins de la compréhension peuvent varier d'un élève à l'autre. Lorsque l'élève éprouve des difficultés à saisir un sujet déterminé — bien que l'enseignant l'en estime capable — une autre manière d'aborder le sujet peut s'avérer utile. Ses recherches expérimentales à l'appui, Piaget affirme que la science ne requiert aucune capacité particulière. En d'autres termes, il n'y a aucune raison pour qu'un élève qui obtient de bons résultats dans d'autres matières ne réussisse pas également en classe de sciences. Piaget défend énergiquement sa position lorsqu'il affirme que c'est la leçon, et non pas le sujet, qui n'est pas comprise. Autrement dit, il faut que le professeur de sciences prévoie des approches très diverses de façon à permettre à chaque élève de choisir celles qui lui conviennent le mieux.

Comment déterminer le contenu d'un cours de sciences?

Jusqu'ici, nous avons examiné les applications générales de nos connaissances sur le développement de l'enfant. Ces applications concernent l'atmosphère générale ou le cadre éducatif, et portent essentiellement sur le point de savoir comment l'enseignant dirige les cours et sur son degré de sensibilité aux problèmes et aux possibilités que présente le stade de développement de chaque élève. Il s'agit maintenant de passer à l'étape suivante et d'étendre ces idées aux décisions à prendre quant au contenu effectif de chaque cours de sciences et à l'approche à adopter.

L'un des problèmes mentionnés dans la section précédente est celui qui se pose lorsque le contenu et l'approche du cours de sciences ne sont pas adaptés au niveau de développement de l'élève. Bien entendu, d'autres problèmes peuvent également surgir dès lors qu'on ne tient pas compte du développement affectif et physique. Afin d'adapter le niveau des cours aux capacités de l'élève, l'enseignant doit procéder en deux étapes:

1. Diagnostiquer le niveau et le mode de développement des élèves.
2. Mettre au point des expériences d'apprentissage correspondant aux intérêts de chaque élève et l'inciter à utiliser ses capacités au maximum sans provoquer chez lui la frustration qu'entraîne l'impossibilité de répondre aux exigences du maître.

La réussite de ces démarches est largement fonction de la situation. En effet, les programmes d'études obligatoires, les contraintes de l'emploi du temps et les méthodes en vigueur dans l'enseignement des sciences sont autant de facteurs qui restreignent la possibilité d'action de l'enseignant. Il n'en reste pas moins que même les enseignants soumis à ces impératifs peuvent en apprendre davantage sur le développement de leurs élèves et appliquer ces connaissances à leur enseignement. Il y a de fortes chances pour que tout progrès dans ce sens ait pour résultat un enseignement plus nuancé et un apprentissage plus efficace.

Nous allons voir maintenant à quelles méthodes les enseignants peuvent recourir pour suivre les recommandations ci-dessus, à savoir: diagnostiquer le développement des élèves et adapter les expériences d'apprentissage à ce développement.

Comment diagnostiquer le degré de développement des élèves?

Au chapitre 3, l'évaluation est traitée comme moyen d'obtenir constamment des informations sur les changements qu'entraînent les

expériences de l'élève. Dans le présent exposé, nous utiliserons le terme «diagnostic» pour nous référer à ce processus et pour faire ressortir la nécessité d'accorder à l'individu le plus d'attention possible.

On peut procéder au diagnostic du développement de l'élève de deux manières principales: l'enseignant peut tout simplement observer les actions et réactions de l'élève dans les exercices courants en classe, sa participation aux activités et aux discussions. Selon une autre approche, il faut présenter à l'élève un problème auquel il doit réagir et répondre; ce problème a pour but de déceler la présence ou l'absence d'aptitudes spécifiques. On peut apprécier la réponse de l'élève lors d'un entretien individuel, d'une discussion en groupe, ou en lui demandant de répondre par écrit. La première approche est vraisemblablement la plus utile si l'on veut obtenir des informations sur le développement affectif de l'élève. Pour ce qui est du diagnostic du développement intellectuel, chaque approche a ses avantages et ses inconvénients, mais on peut les utiliser toutes les deux pour avoir une image aussi complète que possible des aptitudes particulières de chaque élève.

Jusqu'ici, relativement peu de recherches ont été faites en vue de diagnostiquer ceux des aspects du développement affectif qui se rapportent à l'enseignement des sciences. L'étude la plus pertinente est celle du projet *Progress in learning science* (voir bibliographie en fin de chapitre). Les huit attitudes sur lesquelles ce projet porte plus particulièrement ont été énumérées plus haut, p. 56. Pour chacune de ces attitudes, le projet décrit des comportements caractéristiques de trois stades de développement. Après des observations répétées par l'enseignant, on peut diagnostiquer le niveau de développement de chaque élève par rapport à chacune de ces attitudes et l'enregistrer sur une fiche individuelle. On répète le diagnostic à certains intervalles de façon à pouvoir suivre l'élève et l'encourager dans ses progrès. La *Science Curriculum Improvement Study* [Étude pour l'amélioration des programmes de sciences-SCIS] procède à peu près de la même manière.

Pour diagnostiquer le développement intellectuel, on peut recourir à diverses méthodes, mais une précaution s'impose d'abord. Puisque la performance d'un individu peut varier considérablement d'une tâche à l'autre (voir p. 47 à 49), la manière dont il exécutera une ou deux tâches indiquera son degré de développement seulement dans ces domaines particuliers. Il faut donc déterminer sa performance dans une variété de tâches avant de pouvoir conclure qu'il fonctionne surtout à un niveau déterminé. Ce diagnostic doit être un processus continu afin de suivre l'élève dans son développement. Mieux encore que de déterminer ainsi un seul niveau de développement pour chaque élève, on ferait mieux de vérifier son niveau par rapport à plusieurs domaines différents de

l'apprentissage, tels que le poids et la classification pour les jeunes élèves, l'énergie et les mesures pour les élèves plus âgés. Cette approche a été étudiée par *Progress in learning science.*

On distingue trois catégories de procédures que les enseignants peuvent suivre pour diagnostiquer le développement intellectuel. La méthode la plus directe consiste à utiliser les tâches conçues par Piaget à l'origine ou des versions modifiées de celles-ci. Leur avantage tient au fait qu'à chaque stade du développement, Piaget a décrit les réponses des enfants à ces tâches. Ainsi, il est assez facile de diagnostiquer les réponses des élèves à ces tâches en les comparant avec les descriptions de Piaget. Surtout avec de jeunes enfants, l'entretien individuel fournit le meilleur cadre pour l'exécution des tâches. A moins qu'elles ne découlent directement des activités normales de l'enfant, il faudra consacrer à ces tâches un horaire particulier. Avec des élèves plus âgés, on peut confier certaines tâches à de petits groupes ou même à l'ensemble de la classe; mais dans ce cas, on obtiendra probablement moins d'informations sur chaque élève, car, à l'inverse de l'entretien individuel, cette méthode ne permet pas à l'enseignant de sonder directement les raisons qui motivent la réponse de l'élève. Un autre problème réside dans l'impossibilité d'utiliser des tâches identiques pour procéder à des diagnostics répétés, car les réponses seraient faussées du fait que l'élève est familiarisé avec la tâche. Dans la section suivante, nous donnerons quelques exemples de tâches conçues par Piaget et que l'on peut proposer tant aux groupes qu'aux individus; en outre, nous indiquerons dans la bibliographie d'autres sources de tâches.

On peut aussi procéder selon une autre approche, moins formelle, en observant les élèves et en discutant avec eux pendant qu'ils se livrent à leurs exercices scientifiques. Ici, l'enseignant doit savoir quel genre d'aptitudes il peut exiger à chaque stade du développement, afin de tirer de ses observations le meilleur parti.

Dans les pages consacrées au développement intellectuel (ci-dessus p. 41), nous avons décrit globalement les capacités correspondant à chaque stade du développement. Dans la partie intitulée «Du diagnostic à la conception d'expériences d'apprentissage» (p. 67), nous décrirons plus en détail les comportements se rapportant spécifiquement à l'enseignement des sciences. Ces descriptions peuvent aider les enseignants à établir un diagnostic approximatif du développement de leurs élèves.

Beaucoup d'écoles exigent que les résultats des élèves soient périodiquement vérifiés par quelque méthode reconnue. Si l'enseignant prépare le test lui-même, il peut l'utiliser pour vérifier le degré de compréhension et obtenir ainsi des informations sur le développement des élèves. Nous examinerons plus loin («Comment formuler des

questions écrites pour évaluer le degré de compréhension», p. 79) certaines techniques après avoir revu de plus près les caractéristiques intellectuelles propres à chaque stade de développement.

Utilisation des tâches de Piaget pour le diagnostic. La plupart des tâches conçues par Piaget prévoient que l'interviewer (dans notre cas, l'enseignant) pose certaines questions sur un problème qu'il a présenté à l'élève. Celui-ci va interpréter le problème en fonction de son stade de développement. Ses réponses vont dépendre de la manière dont il a interprété le problème. En partant des réponses de l'élève, l'enseignant en déduit le niveau de développement intellectuel. Lorsqu'on présente les tâches, et afin d'éviter que des facteurs extérieurs n'influent sur les réponses des élèves, il convient de tenir compte des recommandations suivantes:

1. Présenter la tâche comme un jeu ou un nouveau sujet de discussion plutôt que comme un test, pour mettre l'élève à l'aise. Il ne faut pas qu'il soit tendu ou qu'il se sente contraint de trouver «la bonne réponse».
2. Permettre aux élèves de travailler à leur propre rythme. Même s'il présente la tâche à plusieurs élèves à la fois, l'enseignant doit l'adapter au rythme de l'élève le plus lent.
3. Accepter toutes les réponses invariablement. Étant donné qu'elles sont toutes révélatrices aux fins du diagnostic, il n'y a pas lieu d'indiquer à l'élève que la réponse est «bonne» ou «mauvaise».
4. Lorsqu'on travaille avec des individus ou qu'on étudie un travail fait en groupe, on peut demander aux élèves les raisons qui ont motivé leurs réponses, ce qui va éclairer davantage leur degré de compréhension. On peut également modifier la tâche initiale pour obtenir plus d'informations. Par exemple, dans l'exercice 1 (p. 42), on peut verser l'eau du récipient 2 dans plusieurs petits récipients. C'est là une façon supplémentaire de voir si l'élève pense que la quantité d'eau reste constante bien que sa «forme» ait changé. En ce qui concerne l'exercice 2 (p. 43), si l'élève répond que la vitesse des deux voitures est identique bien qu'elles parcourent des distances différentes pendant la même durée (2e figure), on peut augmenter la différence entre les deux parcours pour voir si l'élève se cantonne dans sa réponse.

Au début du présent chapitre, nous avons décrit trois activités pour illustrer les transformations que subit la pensée de l'enfant à mesure qu'il passe d'un stade de développement à l'autre. On peut aussi utiliser ces activités pour les besoins du diagnostic. Nous allons maintenant donner une interprétation plus détaillée des réponses possibles à ces tâches. En outre, nous allons décrire trois nouvelles tâches. Elles sont

toutes très simples du point de vue des matériels requis et s'adaptent facilement à une variété de cours de sciences.

Dans l'interprétation des résultats, nous nous intéresserons surtout à la pensée concrète et à la pensée opératoire formelle naissante, puisque la quasi-totalité des élèves du premier cycle secondaire et du début du deuxième cycle se situent à ces stades du développement. Nous nous référerons aux différents niveaux de développement en utilisant la notation suivante, qui rejoint celle qui est utilisée par d'autres auteurs:

2A: Pensée opératoire concrète naissante.
2B: Pensée opératoire concrète avancée.
3A: Pensée opératoire formelle à ses début (sous-stade combinatoire).

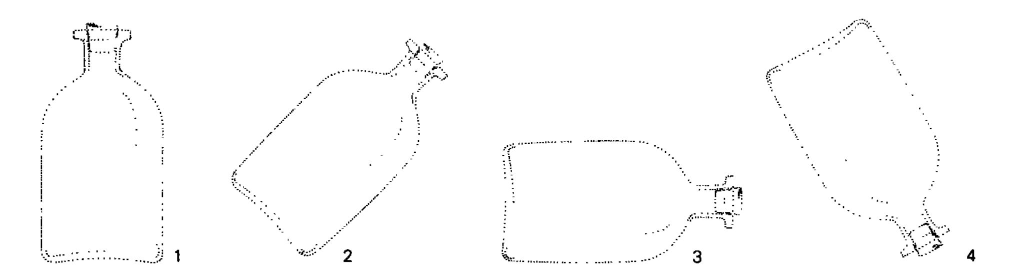
La transition entre deux niveaux ou l'indication d'un niveau mal défini seront notées par l'emploi des signes correspondant aux deux niveaux concernés, par exemple 2A/2B.

Exercice 4

TÂCHE: L'horizontalité du niveau de l'eau (s'adresse aux individus ou aux groupes).

MATÉRIEL: Deux bouteilles identiques fermées. L'une d'elles contient un tiers de son volume d'eau.

MARCHE À SUIVRE: Présenter à l'élève la bouteille contenant l'eau dans une position verticale. Demander à l'élève de faire une esquisse de la bouteille en y faisant figurer l'eau. Retirer ensuite cette bouteille et la remplacer par la bouteille vide. La tenir penchée, appuyée sur une surface plane. Demander à l'élève de faire un dessin indiquant la position que l'eau aurait dans cette bouteille si elle contenait de l'eau comme la première bouteille. Répéter l'opération en choisissant chaque fois une position différente, comme dans la figure ci-dessous. Dans une version destinée au test de groupe, on peut présenter aux élèves un dessin esquissant différentes positions de la bouteille et leur demander de tracer le niveau de l'eau pour chaque position.



INTERPRÉTATION: Pour que l'élève trace un niveau horizontal de l'eau dans toutes les positions, il faut qu'il se rende compte de la nécessité d'utiliser un cadre de référence autre que la bouteille elle-même, notamment les axes naturels, vertical et horizontal. Dans les premiers stades, les élèves tracent généralement le niveau de l'eau parallèlement au fond de la bouteille, quelle que soit la position de celle-ci. Tous les enfants ont déjà vu que le niveau de l'eau reste horizontal pendant qu'on fait pencher le récipient. Néanmoins, ils n'utilisent pas cette expérience s'ils ne possèdent pas la structure mentale nécessaire pour faire preuve de «bon sens» dans leurs observations. Aux stades ultérieurs, leurs expériences les amènent à se rendre compte que l'eau penche vers le goulot de la bouteille lorsqu'on l'incline, mais ils sont encore incapables d'associer le niveau de l'eau à un cadre de référence extérieur. Il s'ensuit que les élèves tendent alors à tracer les lignes obliques qui ne sont ni horizontales ni parallèles au fond de la bouteille.

DIAGNOSTIC

Au-dessous de 2A: les positions 2, 3 et 4 ne sont pas horizontales; souvent parallèles au fond de la bouteille.

2A: la position 3 est horizontale; les positions 2 et 4 sont loin de l'être.

2B: les positions 2 et/ou 4 s'approchent de l'horizontale mais sont encore très inclinées.

2B/3A: tous les niveaux sont horizontaux.

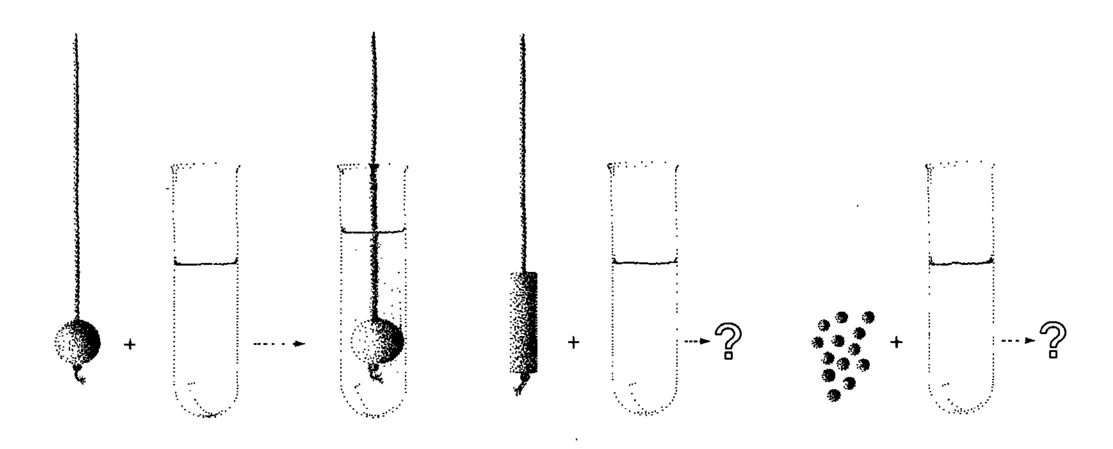
Exercice 5

TÂCHE: Conservation du volume (pour individus ou groupes).

MATÉRIEL: Deux boules de plasticène ou d'argile de grosseur égale, suspendues au bout d'une solide ficelle; un cylindre en verre, partiellement rempli d'eau; deux morceaux de métal de dimensions et de forme identiques mais de poids différents, ou une troisième boule en argile remplie de plomb pour qu'elle soit nettement plus lourde que les autres boules, mais d'égale grosseur.

MARCHE À SUIVRE

a*) Montrer que les deux boules de plasticène déplacent le même volume d'eau dans le verre cylindrique (l'eau monte au même niveau lorsqu'on y plonge chacune des boules). Demander aux élèves quel serait le niveau de l'eau si l'on donnait à la boule la forme d'un saucisson ou d'un bâtonnet et qu'on le plongeait dans l'eau. Que se passerait-il si l'on coupait l'une des boules en morceaux pour les plonger dans l'eau?*



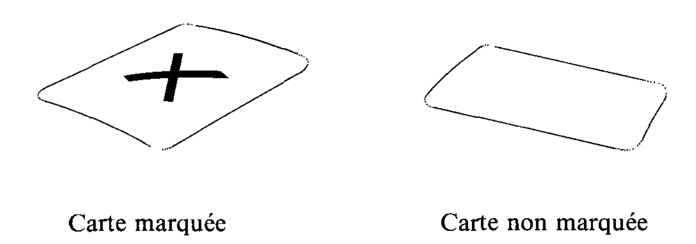
b) *Bien faire vérifier aux enfants que les cylindres de métal ont des poids différents. On peut y parvenir en les soupesant ou les plaçant aux deux extrémités d'une balance à fléau. Demander aux élèves de dire si chacun des deux cylindres déplacerait ou non le même volume d'eau.*

INTERPRÉTATION: L'exécution correcte de la tâche a *est possible au stade avancé des opérations concrètes. Avant ce stade, les élèves ne se rendent pas compte que le volume d'argile reste constant malgré ses modifications de forme. Lorsque les élèves exécutent la tâche correctement, ils donnent des raisons semblables à celles qu'ils avancent pour le transvasement de l'eau (exercice 1): « C'est la même argile. Vous n'y avez rien ajouté et vous n'en avez rien enlevé. » Mais l'exécution correcte de cette tâche n'est possible que plusieurs années après la réussite de l'exercice 1. Même à la fin du stade des opérations concrètes, nombreux sont les élèves qui pensent que le volume d'eau déplacé dépend du poids de l'objet qui provoque le déplacement; aussi disent-ils souvent que le niveau de l'eau montera avec un objet plus lourd.*

DIAGNOSTIC
2A et au-dessous: aucune réponse correcte.
2A/2B: une seule réponse correcte pour a, *erronée pour* b.
2B: a) *les deux réponses sont correctes;* b) *erronées.*
2B/3A: toutes correctes.

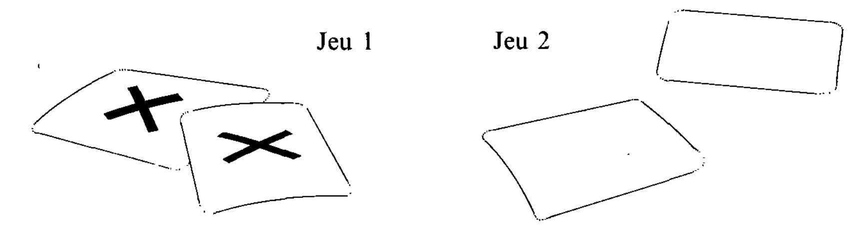
TÂCHE: La probabilité (convient plutôt aux élèves pris individuellement, mais peut être exécutée en petits groupes). *Exercice 6*

MATÉRIEL: Une vingtaine de petites cartes blanches dont la moitié portent une marque sur une face, une tache noire, par exemple.



Carte marquée Carte non marquée

MARCHE À SUIVRE: Présenter aux élèves deux jeux de cartes comportant chacun un nombre différent de cartes vierges et de cartes marquées. La figure ci-dessous illustre l'exemple le plus simple.



Une fois que l'élève a vu la composition de chaque jeu, retourner l'un des jeux et battre les cartes de façon à ne plus pouvoir les identifier. Procéder de la même manière avec l'autre jeu. Demander à l'élève de quel jeu il a le plus de chances de tirer du premier coup une carte marquée. Lui demander également d'expliquer les raisons de son choix. Il faut s'assurer que les règles du jeu sont bien comprises, notamment que l'élève ne peut choisir qu'une fois et qu'il ne peut plus identifier les cartes une fois qu'elles ont été retournées et battues. On peut rendre ce dernier point plus clair en plaçant les jeux dans des boîtes différentes. On les secoue, et l'élève doit choisir de quelle boîte il tirera une carte, sans en regarder le contenu. Une fois qu'on a procédé à plusieurs combinaisons simples et que la marche à suivre est comprise, il est inutile de retourner les cartes, de telle sorte que l'élève n'a pas besoin de mémoriser les combinaisons. Ci-dessous une série de combinaisons rangées dans un ordre approximatif de difficulté croissante. On peut utiliser les quatre premières pour s'exercer et se familiariser avec la tâche.

Combinaison	Jeu 1		Jeu 2	
	Marqué	*Non marqué*	*Marqué*	*Non marqué*
1	2	0	0	2
2	1	1	2	0
3	1	2	1	2
4	2	1	1	1
5	1	4	1	3
6	3	2	3	1
7	2	2	1	3
8	1	1	2	2
9	2	3	1	1
10	1	2	2	4
11	2	3	1	2
12	4	2	2	1
13	2	3	4	5
14	5	3	3	2
15	5	7	2	3

INTERPRÉTATION: Les quatre premières combinaisons sont très faciles et servent d'exercice pour s'assurer que les règles sont bien comprises. Dans les combinaisons 5 à 7, le nombre total des cartes ou le nombre des cartes marquées ou vierges est le même dans les deux jeux. Cela permet une comparaison directe n'impliquant qu'une seule variable. Les autres combinaisons requièrent la comparaison des rapports et sont donc plus difficiles, surtout lorsque les proportions sont inégales et qu'on utilise un nombre de cartes relativement grand. Au stade 2B, l'enfant peut trouver certaines proportions identiques si les jeux comportent peu de cartes, comme dans les combinaisons 9 et 11, par simple perception. Il ne sera pas capable d'étendre ses observations à un nombre plus grand de cartes. Il est susceptible de donner des raisons inadéquates pour expliquer son choix, en optant pour le jeu qui contient moins de cartes ou davantage de cartes marquées. On verra qu'au stade avancé des opérations concrètes, les proportions identiques donneront lieu à des probabilités identiques. Ce n'est qu'au stade des opérations formelles que l'enfant résoudra toutes les combinaisons ayant des proportions identiques en calculant et en comparant les rapports dans chaque jeu.

DIAGNOSTIC

Au-dessous de 2A: une ou plusieurs erreurs dans les combinaisons 5 à 7, la plupart des autres sont erronées.

2A: les combinaisons 5 à 7 sont correctes, le reste est erroné.

2B: les combinaisons 8 et/ou 9 sont correctes, une au moins des proportions identiques est correcte, mais non pas toutes (combinaisons 8, 10, 12).
2B/3A: toutes les proportions identiques sont correctes, deux ou plusieurs proportions inégales sont erronées.
3A: toutes les combinaisons sont correctes sauf une des trois dernières.

DIAGNOSTIC DE L'EXERCICE 1 (p. 42)
Stade préopératoire: toutes les réponses sont erronées.
Stade préopératoire/2A: un mélange de réponses correctes et erronées.
2A: toutes les réponses sont correctes.

DIAGNOSTIC DE L'EXERCICE 2 (p. 43)
Au-dessous de 2A: première figure, départ et arrêt non simultanés, donc durées inégales. Vitesse plus grande de A' à B' que de A à B; deuxième figure, vitesse égale.
2A: sont conscients de la simultanéité du départ et de l'arrêt; même vitesse dans la deuxième figure.
2A/2B: toutes les réponses sont correctes.

DIAGNOSTIC DE L'EXERCICE 3 (p. 45)
Au-dessous de 2A: aucune recherche systématique.
2A: aucune distinction entre les variables; ne peut pas mettre en ordre les valeurs des poids.
2B: peut mettre les valeurs des variables en ordre; trouve le rapport entre la longueur de la ficelle et la fréquence; s'embrouille pour d'autres rapports.
3A: commence à isoler les variables, mais de façon ni complète ni systématique; détermination systématique du rapport entre la longueur et la fréquence.

Du diagnostic à la conception d'expériences d'apprentissage

Nous avons déjà souligné l'importance pour l'enseignant d'adapter ses objectifs aux capacités de l'élève. Cette harmonisation a deux aspects: diagnostiquer les capacités des élèves et déterminer les objectifs des cours de sciences. (Nous employons ici le terme «objectifs» dans le même sens que dans l'annexe [p. 204], pour désigner les tâches que l'enseignement scientifique dispensé aux élèves est censé les rendre capables d'exécuter.) Le degré de liberté dont dispose l'enseignant pour déterminer les objectifs varie largement d'une situation à l'autre. Dans

des cas exceptionnels, certains enseignants sont totalement libres de choisir le contenu et la façon de transmettre le savoir à leurs élèves. D'autres enseignants doivent suivre un programme obligatoire ou un schéma de cours. Ils possèdent néanmoins la latitude de déterminer les objectifs compatibles avec les capacités des élèves dans le contexte d'un sujet donné. Ils peuvent aussi décider quel type d'approche du sujet peut convenir le mieux aux aptitudes des élèves. Des élèves qui se situent à des stades différents de développement intellectuel peuvent aborder des sujets très divers. Par exemple, en examinant différents objets pour voir lesquels d'entre eux flottent et quels sont ceux qui coulent, l'élève arrivé au stade 2A s'aperçoit que tant le poids que la grosseur de l'objet sont des facteurs déterminants. Il peut prévoir le comportement de l'objet bien que les concepts de poids et de densité ne lui soient pas tout à fait clairs. Les élèves arrivés au stade 3A peuvent traiter ce problème en comparant les densités; ils commencent à comprendre le concept de poids spécifique.

Étant donné que l'exploration d'un grand nombre de sujets peut se faire à des niveaux différents, le choix du contenu ou des sujets importe moins que les décisions concernant le niveau intellectuel auquel les tâches seront effectuées. La détermination du niveau intellectuel escompté ou des objectifs joue un rôle primordial dans un processus plus vaste, à savoir la conception des expériences d'apprentissage. Les efforts de l'enseignant pour adapter les exigences intellectuelles de l'activité aux aptitudes des élèves détermineront dans une très large mesure les exercices qu'il leur proposera et l'organisation du travail.

Pour aider l'enseignant dans ses efforts, nous présentons dans les pages qui suivent un «Guide pour diagnostiquer et concevoir des expériences d'apprentissage». Ce guide décrit les réactions d'élèves aux exercices scientifiques aux stades de développement qui nous intéressent le plus: 2A, 2B et 3A. Les réactions sont classées sous quatre rubriques qui se rapportent plus particulièrement aux activités scientifiques:

1. Quels sont les aspects du problème que l'élève est en mesure d'explorer?
2. Quelles sont les relations de cause à effet que l'élève est capable d'établir?
3. Quelles conclusions l'élève peut-il tirer de ses observations?
4. Quels sont les concepts que l'élève est à même de comprendre et de mettre en application?

Les descriptions sont illustrées d'exemples tirés d'activités adaptées aux différents stades. Ce guide, ainsi qu'une certaine connaissance des niveaux de développement des élèves, permet déjà à l'enseignant de prévoir comment les élèves réagiront aux divers aspects d'un exercice. Plus loin, nous indiquerons en détail la façon dont on peut utiliser le

guide pour concevoir des expériences d'apprentissage. Un autre usage est également possible: l'enseignant peut comparer les observations qu'il a faites sur le comportement de l'élève, soit pour lui-même, soit à l'occasion des tests officiels en classe, avec les descriptions que fournit le guide. Cela donne à l'enseignant un moyen supplémentaire d'évaluer le niveau de développement de l'élève (voir p. 58 «Comment diagnostiquer le degré de développement des élèves?»). Dans la section intitulée «Comment formuler des questions écrites pour évaluer le degré de compréhension?» (p. 79), nous traiterons de la conception de problèmes permettant de procéder au diagnostic.

Pour diverses raisons, on ne doit pas considérer les descriptions du guide comme des critères absolus auxquels tout élève devrait répondre. Le guide présente des suggestions, non des instructions ni des injonctions. Lorsqu'on aura à prendre des décisions en matière de diagnostics ou d'expériences d'apprentissage, le guide permettra de compléter et d'élargir l'expérience et le jugement de l'enseignant mais non de les remplacer.

Une des raisons pour lesquelles le guide ne peut fournir de critères absolus, c'est que les descriptions sont incomplètes; elles ne couvrent pas tous les aspects possibles d'un cours de sciences. Comme elles sont assez générales, l'enseignant aura souvent à faire appel à son propre jugement pour choisir la description qui correspond le mieux à la réaction observée chez l'élève ou qu'il souhaite provoquer chez lui. Une autre raison, c'est que ces descriptions générales s'inspirent des réponses de certains enfants sur différents problèmes. Cela ne garantit pas que les élèves se situant à un certain niveau de développement donneront nécessairement les réponses indiquées dans le guide. Une telle concordance ne pourrait être établie qu'après vérification minutieuse en milieu scolaire, mais ce travail n'a pas encore été effectué. Enfin, un élève peut exécuter un exercice, en interpréter les résultats et comprendre les concepts élémentaires d'un problème mieux que ceux d'un autre problème même si, à première vue, les deux problèmes requièrent la même démarche intellectuelle. Cette facilité à traiter l'un des problèmes peut s'expliquer par l'une des raisons suivantes: l'élève a déjà fait l'expérience d'une activité similaire; l'appareil lui est plus familier, les changements à observer sont plus évidents. C'est pourquoi nous mettons l'enseignant en garde contre une interprétation et une application trop strictes du guide. L'ordre de développement sous chaque rubrique est probablement correct. C'est l'harmonisation entre la description et le stade du développement qui est moins sûre. Néanmoins, nous estimons que le guide peut fournir à l'enseignant des informations utiles lui permettant de mieux diagnostiquer les capacités de ses élèves et, par conséquent, de concevoir des expériences d'apprentissage et de définir les objectifs adaptés à leurs capacités.

Guide pour le diagnostic et la conception d'expériences d'apprentissage. Les exemples cités ici ont été empruntés à un nombre d'activités limité. Nous avons cherché à concilier le besoin de disposer d'une variété d'exemples avec celui d'examiner les divers aspects d'une même activité. Ainsi, certaines activités sont examinées en fonction de divers stades de développement sous la même rubrique, d'autres sont examinées en fonction du même stade mais sous des rubriques différentes. L'exercice auquel chaque exemple correspond est indiqué par une mention entre parenthèses, comme ci-dessous:

1. (Pend) Tâche du pendule, exercice 3 (p. 45).
2. (Bal) Déterminer la loi d'équilibre de la balance, en utilisant un fléau gradué à distances égales de part et d'autre de l'axe, auxquelles on peut accrocher des poids différents.
3. (Flotte) Chercher quelles sortes d'objets coulent et quels objets flottent sur l'eau; formuler ensuite une définition générale.
4. (Fonte) Exercice où l'on fait fondre par la chaleur diverses substances (voir *Nouveau manuel de l'Unesco pour l'enseignement des sciences*, activités 2.2, 2.4 et 2.16).
5. (Fourmi) Étudier le comportement d'une larve de fourmilion qui creuse des entonnoirs dans la terre meuble et sèche, et capture des fourmis (tiré de *Ask the ant lion*, publié par le Science Education Programme for Africa ou SEPA).
6. (Transp) Utiliser un potomètre pour mesurer le taux de déperdition d'eau des feuilles par transpiration (voir *Nouveau manuel de l'Unesco...*, activité 3.43).
7. (Diss) Étudier les facteurs (tels que l'agitation et la grosseur des particules) qui influent sur la rapidité de dissolution du sel dans l'eau (voir *Nouveau manuel de l'Unesco...*, activité 2.12).

---

1. Quels aspects du problème l'élève est-il en mesure d'explorer?

Comportement de l'élève	*Explications et exemples*
2A	
Suit des instructions simples, orales ou écrites.	Suivra les instructions par étapes, car la séquence n'est pas mémorisée.
Modifiera les conditions pour voir ce qui se passera. Facile lorsqu'il s'agit d'une seule variable. Ne le fait pas systématiquement s'il y a deux ou plusieurs variables.	(Fourmi) Essaye d'autres matériaux que la terre meuble pour voir si les fourmilions les utiliseront pour construire leurs pièges. (Pend) Examine divers poids, cordes de longueurs différentes, etc., mais modifie plus d'un facteur à la fois.
Observera les facteurs qu'il faut pour répondre à des questions simples impliquant une démarche méthodique.	(Fourmi) Peut déterminer le type de nourriture du fourmilion. (Pend) La détermination de l'effet des différentes variables est difficile étant donné l'incapacité d'examiner chaque variable séparément.

Comportement de l'élève	*Explications et exemples*
Est capable de comprendre qu'un résultat peut être déterminé par plus d'un facteur.	(Pend) La fréquence de l'oscillation peut être influencée par différents facteurs. (Fourmi) Le poids ou la viscosité de la substance peuvent empêcher les fourmilions de l'utiliser.
2B	
Est capable de modifier un facteur pour examiner son effet qualitatif; ne peut pas séparer les variables en interaction.	Semblable à 2A, mais plus avancé. Modifie un seul facteur de façon plus systématique mais ne distingue pas plusieurs facteurs. (Transp) Peut mesurer des volumes relatifs d'eau évaporée lorsqu'il utilise des feuilles dont la surface totale est variable.
Peut procéder à des mesures en faisant des comparaisons.	(Transp) Sait mesurer la surface foliaire (voir ci-dessus). (Pend) Sait chronométrer la fréquence d'oscillation avec une montre ou par une autre méthode telle que le pouls.
Capable d'appliquer l'activité à un problème très voisin du problème initial.	Se limite essentiellement à recourir à des matériaux différents dans une situation semblable; par exemple, utilisation d'une infusion de feuilles au lieu d'encre pour établir un chromatogramme.
3A	
Lorsque plusieurs variables sont en interaction, commence à en modifier une en gardant les autres constantes; n'est pas tout à fait systématique en situation complexe.	(Pend) Peut déterminer que la longueur de la ficelle affecte la fréquence, mais risque de ne pas éliminer les autres facteurs, parce que la distinction entre les variables est encore sporadique et incomplète dans un cas aussi complexe. (Diss) Déterminera mieux l'effet de chaque variable, car elles sont plus faciles à isoler que dans l'exercice du pendule.
Peut concevoir une expérience de contrôle simple afin de déterminer l'influence d'une seule variable si les variables sont faciles à dissocier.	Pourrait déterminer si l'humidité est nécessaire à la germination des graines. Ici les variables sont plus faciles à isoler que dans les exemples ci-dessus parce que la modification des variables (humidité, lumière, chaleur, etc.) requiert des efforts importants.
Peut appliquer les idées et les techniques d'une situation donnée à d'autres contextes.	devrait pouvoir apprendre les techniques d'isolement des variables dans une situation relativement simple et les appliquer à d'autres problèmes simples.

2. Quelles relations de cause à effet l'élève est-il capable d'établir?

Comportement de l'élève	*Explications et exemples*
2A	
Trouve le rapport entre la cause et l'effet tant qu'un seul facteur varie.	Sait répondre à des questions comme: «Que se passera-t-il si...?» ou «Comment pouvez-vous provoquer...?». Ne modifiera pas un facteur systématiquement.

Comportement de l'élève	*Explications et exemples*
	(Bal) Peut se rendre compte que des poids égaux situés à égale distance de l'axe s'équilibrent. Si les poids sont inégaux, il rétablit l'équilibre en ajustant la distance entre ceux-ci et l'axe, mais ne définit pas de rapport quantitatif.
	(Fourmi) Peut constituer différentes épaisseurs du sol, et se rend compte que le fourmilion ne creuse pas de trou dans une couche de terre mince.
2B	
Peut établir l'ordre et la correspondance entre l'action (ou la cause) et le résultat. Cette aptitude peut survenir plus tôt si les différences sont faciles à constater. La correspondance directe est plus facile que la correspondance inverse ou la non-correspondance.	(Transp) Peut constater qu'une plus grande surface foliaire entraîne une plus grande déperdition d'eau. Peut illustrer les résultats graphiquement si on le lui demande. (Bal) Se rend compte que pour réaliser l'équilibre il faut placer des poids plus lourds plus près de l'axe. Déplace les poids inégaux pour obtenir l'équilibre mais sans calculer les distances nécessaires.
Peut classer de diverses manières les choses animées et inanimées.	(Transp) Pourrait classer une série de feuilles selon leur épaisseur, forme, ou un autre critère.
3A	
Établit les rapports quantitativement en faisant intervenir les proportions.	(Bal) Peut calculer les distances requises pour que des poids inégaux s'équilibrent.
Peut déduire les rapports si diverses variables ont été dissociées.	(Diss) Peut déterminer l'effet des variables examinées; risque d'éprouver des difficultés à éliminer des variables qui n'ont pas d'effet si le résultat est imprévu.

3. Quelles conclusions l'élève peut-il tirer de ses observations?

Comportement de l'élève	*Explication et exemples*
2A	
Formule de nouveau les associations observées.	Les formulations risquent de ne pas être toujours exactes ou complètes. (Fourmi) Dirait que le fourmilion ne construit pas son piège si le sol est peu profond. (Flotte) Expliquerait peut-être qu'un objet flotte ou coule en fonction de son poids ou de la matière dont il est composé (par exemple, les objets en pierre ou en fer coulent toujours).

Comportement de l'élève	*Explications et exemples*
2B	
Formule les rapports observés dans une situation concrète; peut dépasser ses observations pour chercher une explication causale.	La formulation s'attachera plutôt à décrire et à expliquer chaque cas qu'à en déduire un schéma général de rapports valable pour toutes les observations. Habituellement, la généralisation à partir de l'exercice n'est pas spontanée. (Flotte) Se rend compte que le poids n'est pas un critère absolu; l'explication des résultats tend à les attribuer à une forme d'interaction dynamique entre l'eau et chaque objet particulier. (Transp) Se rend compte que le taux de déperdition de l'eau est fonction de la surface foliaire.
Tire des conclusions valables d'une expérience de contrôle.	(Transp) Si l'on installait un autre potomètre sans utiliser de feuilles, l'élève en conclurait que les feuilles sont responsables de la perte d'eau.
3A	
Cherchera une explication ou une raison générale pour justifier des rapports constatés dans une situation concrète. L'explication est souvent basée sur un concept dont il n'a pas fait directement l'expérience.	(Diss) Expliquerait peut-être l'augmentation du taux de dissolution en termes du contact croissant entre le solvant et la substance dissoute. (Flotte) Comparerait peut-être le poids de l'objet avec le poids d'un volume égal d'eau (supputation).
Peut tirer des conclusions valables d'une situation où les variables en interaction ont été dissociées.	(Diss) Peut préciser l'effet de chacune des variables examinées sur le taux de dissolution. (Flotte) Prend en ligne de compte la similitude des volumes de l'objet et de l'eau et compare les poids (voir ci-dessus).
Si les variables sont faciles à dissocier, peut concevoir un test permettant de tirer des conclusions.	(Flotte) Pourrait expérimenter avec des objets en bois de dimensions différentes; ils devraient tous flotter si les poids spécifiques sont similaires. (Diss) Pourrait prouver que l'agitation produit un effet en comparant deux cas (liquide agité ou non) tout en maintenant les autres facteurs constants.
Commence à pouvoir appliquer à une nouvelle situation sa connaissance d'un problème.	(Diss) S'attendrait à ce que les mêmes facteurs agissent de façon identique sur d'autres solvants et corps dissous. (Flotte) Pourrait concevoir un procédé pour prévoir le comportement d'un objet sans vraiment le tester.

4. Quels concepts l'élève est-il à même de comprendre et de mettre en application?

Comportement de l'élève	*Explications et exemples*
2A	
Peut comprendre une explication se référant aux aspects de l'activité directement observée.	(Fonte) Se rend compte que le feu a fait fondre la cire. (Fourmi) Se rend compte que le fourmilion creuse son trou afin de capturer sa nourriture.
2B	
Peut comprendre le concept de «cause» en tant que facteur plus fondamental que les phénomènes observés.	Cette compréhension se limitera généralement à la situation spécifique expérimentée concrètement. (Fonte) Se rend compte que la chaleur du feu a fait fondre la cire. D'autres sources de chaleur connues peuvent avoir le même effet. (A ce stade, pourrait comprendre le concept d'énergie dans sa forme élémentaire.) (Transp) Se rend compte que la bulle se déplace parce que les feuilles dégagent de l'eau dans l'atmosphère. Ne comprend généralement pas le rôle de la transpiration dans le système de transport des plantes, car ce mécanisme est abstrait.
3A	
Peut comprendre les applications qualitatives d'un «modèle» ou d'une théorie générale pour expliquer une situation concrète (les modèles simples peuvent être compris d'une manière plus intuitive dès le stade 2B	(Fonte) Expliquerait que la fusion est possible parce que les particules ont suffisamment d'énergie pour éviter la disposition régulière d'un solide. L'énergie est fournie par le feu. (Diss) Pourrait interpréter l'effet de l'agitation et de la division de la substance par l'accroissement du contact entre celle-ci et le solvant.
Peut faire des déductions *simples* à partir du modèle si son emploi est expliqué	(Fonte et Diss) Pourrait peut-être prévoir l'effet de l'accroissement de température sur le taux de diffusion d'un liquide dans un autre.

Comment utiliser le guide pour diagnostiquer et concevoir des expériences d'apprentissage. Dans la planification de leurs cours, les enseignants suivent un certain nombre d'étapes. Les approches peuvent varier, mais le schéma ci-après définit les principales étapes selon lesquelles l'enseignant pourrait procéder:

1. Déterminer les buts et objectifs.
2. Choisir une activité appropriée.
3. Planifier l'organisation de l'activité.
4. Évaluer les résultats de l'activité.

Les étapes 1 et 2 sont souvent parcourues dans l'ordre inverse, et l'étape 1 peut s'effectuer inconsciemment. Ces deux premières étapes sont examinées de plus près dans l'annexe *Questions à débattre* (p. 184).

Selon le système d'enseignement dans lequel ils travaillent, les enseignants peuvent appliquer ce schéma à partir de différentes étapes. Un éducateur auquel on demande simplement d'«enseigner les sciences» pourra commencer par la première et devra décider de tout par lui-même. Mais plus souvent, on fournit à l'enseignant un programme indiquant dans ses lignes générales le contenu de l'enseignement. Il commencera lui aussi par la première étape, mais sera tenu de choisir des activités s'inscrivant dans le cadre du programme. Lorsque celui-ci expose dans les détails le déroulement de l'enseignement, les décisions qu'il appartient à l'enseignant de prendre seront essentiellement limitées aux points 3 et 4. Il faudra ajuster toutes ces étapes aux capacités de l'élève et fixer les objectifs en fonction de ce qu'on peut attendre de lui. L'activité devra être adaptée aux objectifs à atteindre sans exiger des performances intellectuelles dépassant les aptitudes de l'élève; il faudra donc qu'elle soit organisée dans les conditions les plus propres à assurer la réalisation des objectifs fixés. L'évaluation, qu'elle ait ou non un caractère officiel, aura pour but de vérifier le degré de réalisation des objectifs et d'aider à réviser les activités et à en planifier d'autres.

C'est lors de la troisième étape que l'enseignant devra prendre des décisions importantes. Le guide présenté plus haut a pour but de l'aider à les prendre. L'étape 3 vise à créer en classe une situation qui favorise la participation de l'élève aux activités et lui permette d'en tirer profit. Si les exigences intellectuelles du problème dépassent de loin ses capacités, l'élève négligera certaines informations que la situation laisse apparaître, mais en incorporera d'autres aux structures intellectuelles qui sont les siennes. Il s'ensuivra probablement que sa manière de comprendre et d'utiliser ces informations différera beaucoup de ce qui avait été envisagé. Si, par contre, les exigences sont inférieures à ses capacités et ne l'incitent pas à réfléchir sur les connaissances acquises, il risque de ne pas profiter de la situation pour consolider son développement intellectuel et apprendre au maximum. Nous donnerons plus loin deux exemples d'utilisation du guide en vue de planifier la conduite des activités.

L'évaluation (étape 4) doit aller au-delà de la simple détermination des connaissances factuelles de l'élève. Son but est de déterminer le niveau de compréhension de chaque individu. C'est une tâche relativement facile lorsque l'évaluation est informelle, c'est-à-dire lorsque l'enseignant peut observer l'élève qui travaille et lui poser des questions appropriées. La tâche devient difficile s'il s'agit d'un test écrit, dont les

questions devront être conçues de telle façon que les réponses de l'élève indiquent son degré de compréhension, et non seulement son aptitude à donner la réponse escomptée. Nous examinerons plus loin (p. 79) la manière d'élaborer ces questions.

Nous allons maintenant montrer comment utiliser le guide en l'appliquant à la conduite possible de deux exercices scientifiques typiques. Le premier sujet est tiré d'un cours de sciences pour les écoles secondaires au Ghana.

Supposons qu'un enseignant aborde le thème de la dissolution et demande à ses élèves d'examiner les facteurs susceptibles d'influencer le rythme de dissolution du sel ordinaire dans l'eau. Supposons aussi que les élèves aient l'habitude de faire seuls les exercices scientifiques. A quelles aptitudes l'enseignant peut-il s'attendre chez ses élèves? Comment doit-il concevoir l'activité de façon à inciter le plus grand nombre d'entre eux à exécuter une tâche dont ils soient capables, sans provoquer la frustration qu'entraîne l'incapacité totale de satisfaire aux exigences de l'enseignant? Un éducateur qui a de l'imagination peut organiser l'activité de manière à permettre à différents groupes d'élèves de l'exécuter de diverses façons. Mais, dans un souci de simplicité, examinons la manière d'organiser l'activité avec des élèves qui se situent au début du stade des opérations formelles (3A), et avec ceux qui en sont à la fin du stade des opérations concrètes (2B), sans soulever la question de savoir si tous les groupes représentés dans la classe seront traités ou non de la même manière. Les aspects décisifs de l'activité seront examinés au regard de chacune des quatre rubriques du guide. Soulignons qu'il s'agit là d'illustrer la façon dont on peut appliquer le guide dans un cas spécifique. Les détails de ce qui se passerait réellement varieraient à certains égards selon les situations.

Exploration. Cette situation implique un certain nombre de variables différentes en interaction, mais aucun des groupes n'est capable d'explorer le problème systématiquement sans se laisser orienter par l'enseignant. Par conséquent, l'activité pourrait être présentée dans une discussion en classe, au cours de laquelle les élèves feraient des suggestions, discuteraient certains facteurs susceptibles d'influer sur le rythme de dissolution et envisageraient les moyens de les modifier. Les élèves distingueraient peut-être les variables suivantes: particules de sel, petites ou grosses avec ou sans agitation, chaleur accrue ou non, lumière ou obscurité.

Il faut ensuite déterminer la conduite de l'exercice afin que l'effet de chaque variable puisse être établi tour à tour tout en maintenant les autres constantes. Les élèves du niveau 3A doivent pouvoir exécuter cet exercice, du moins en partie, car les variables sont faciles à isoler. Même l'élève qui ne réfléchit pas très attentivement traitera vraisemblablement deux récipients de la même façon, sauf pour le facteur qu'il

modifie consciemment. Par contre, il y a peu de chances pour que les élèves du niveau 2B dissocient les variables spontanément mais, si on les oriente, ils seront capables de comprendre la nécessité de cette opération.

Les relations. Étant donné que la vitesse est l'un des aspects du processus étudié, les élèves du niveau 3A penseront peut-être à utiliser une montre ou un chronomètre pour mesurer la durée de dissolution du sel dans différentes conditions; ils doivent pouvoir le faire assez systématiquement. D'autres élèves formuleront plutôt des jugements qualitatifs, à moins qu'on ne leur suggère de contrôler le temps. Si les variables sont examinées séparément, tous les élèves doivent pouvoir trouver un rapport simple entre les variables pertinentes et le rythme de dissolution. Les élèves du niveau 2B pourraient avoir des difficultés à éliminer des variables qui n'ont aucune influence, la dernière de celles indiquées ci-dessus par exemple.

Les conclusions. Si les variables ont été isolées dans chaque partie de l'expérience, les deux groupes devraient pouvoir tirer des conclusions valables de leurs résultats. Si la dissociation n'est pas complète et que, pour cette raison ou une autre, les résultats sont ambigus, les élèves du niveau 3A pourraient se rendre compte qu'aucune conclusion n'est possible. Les élèves du niveau 2B n'en seront probablement pas conscients. Les conclusions porteront sur l'effet de chaque facteur isolé sur le rythme de dissolution. Au niveau 2B, les élèves auront tendance à croire que les résultats s'appliquent au système particulier qu'ils examinent, alors que ceux du niveau 3A y verront une expérience de portée générale. Seuls les élèves ayant atteint ou dépassé le stade 3A chercheront à donner une explication plus générale des résultats qu'ils auront obtenus.

Les concepts. Tous les élèves devraient comprendre qu'on peut accélérer le rythme de dissolution en modifiant les facteurs appropriés. L'explication du phénomène sera comprise par les élèves de diverses manières selon leur stade de développement. Une explication simple, qui attribue une dissolution plus rapide à un plus grand contact entre le sel et l'eau, sera probablement comprise de beaucoup d'élèves au stade 2B. Un raisonnement semblable, évoquant la nature particulaire de la matière, devrait être à la portée des élèves du niveau 3A. Seuls les élèves ayant atteint un stade plus avancé pourront comprendre une explication plus complète basée sur la théorie des particules.

Notre second exemple est fourni par un exercice accessible à des élèves plus jeunes. (Supposons que la plupart d'entre eux se situent aux niveaux 2A et 2B.) Cet exercice offre en même temps plus de possibilités d'investigation. Imaginons que certains élèves aient vu des mouches du vinaigre et s'interrogent sur leur nature et leur provenance. L'enseignant pourrait proposer une activité sur ce sujet et demander aux élèves

d'en chercher aux environs de l'école (en s'assurant d'abord qu'ils peuvent en trouver près d'une poubelle ou de fruits très mûrs). On pourrait ensuite inciter les élèves à poser des questions sur les mouches du vinaigre et à chercher des réponses à leurs questions. Voici quelques-unes des questions que pourraient poser les élèves:

1. Que mangent les mouches du vinaigre?
2. Que se passe-t-il lorsqu'elles manquent d'air?
3. Que se passe-t-il lorsque vous mettez une araignée parmi les mouches du vinaigre?
4. Est-ce que les mouches aiment l'eau?
5. D'où viennent-elles?
6. A quel rythme se reproduisent-elles?
7. Comment se reproduisent-elles?
8. Pourquoi viennent-elles sur les fruits seulement lorsqu'ils sont mûrs?

C'est l'enseignant, et non pas les élèves, qui s'apercevra que certains problèmes sont plus faciles à résoudre que d'autres. Si l'enseignant connaît les capacités des élèves, il pourra prévoir les difficultés éventuelles de chaque groupe à résoudre son problème et sera prêt à faire des suggestions, au moment opportun, pour surmonter ou éviter ces difficultés.

Les quatre premières questions sont faciles à traiter par les élèves arrivés au stade 2A de développement intellectuel. Chaque question indique d'elle-même les conditions à modifier et les éléments à observer. Les conclusions et les concepts qui résulteront de l'exercice seront simples constatations des facteurs observés. Les principaux problèmes pourraient éventuellement se poser à propos des méthodes à appliquer pour conduire une expérience permettant d'obtenir des résultats ne prêtant à aucune équivoque. Des quatre premières questions, la quatrième représente la plus grande difficulté à cet égard, et sera donc traitée différemment par les élèves qui se situent à différents stades de développement. Au premier stade, les élèves se contenteront souvent de vérifier si les mouches qui se trouvent dans un bocal semblent attirées par un petit récipient d'eau. Au niveau plus avancé, on pourra proposer des méthodes plus raffinées.

Les questions 5 et 6 exigent également des stratégies plus évoluées. La meilleure méthode pour traiter la question 5, c'est de la subdiviser en une série de suggestions (les mouches viennent des fruits, de l'air, du sol, etc.), et d'examiner chaque proposition séparément. La démonstration rigoureuse que les mouches viennent de telle ou telle source s'apparente en réalité à la conception d'une expérience de contrôle tendant à dissocier des variables (par exemple, le fait de mettre un fruit à découvert et un autre dans un bocal fermé démontre que les mouches ne

proviennent pas du fruit). Ici, il faudra probablement fournir une certaine aide, même aux élèves relativement avancés.

La question 6 implique le recensement des mouches qui se trouvent dans un bocal fermé, à des intervalles réguliers. Lorsque la population est nombreuse, il faut utiliser des techniques qui ne sont pas à la portée des élèves du premier stade de développement. Le *Nouveau manuel de l'Unesco pour l'enseignement des sciences* (activités 3.23 et 3.30) propose de faire une estimation du nombre de mouches en plaçant dans le bocal du papier millimétrique et en comptant le nombre de mouches sur une portion donnée de la grille. On peut demander aux élèves plus avancés de calculer le nombre total des mouches d'après l'échantillon, mais, comme il s'agit d'utiliser les proportions, seuls les élèves arrivés au stade de la pensée opératoire formelle pourront comprendre les principes de ce calcul. Au bout d'un certain temps, la population du bocal n'augmente plus. Cette baisse du taux d'accroissement se produit plus vite dans un bocal plus petit. A ce niveau, il y a peu de chances pour que les élèves puissent expliquer ce phénomène par un principe général.

Les questions 7 et 8 exigent des examens étendus et complexes qui dépassent les capacités de ces élèves, encore qu'ils pourraient explorer certains aspects limités de ces problèmes. A cet effet, l'enseignant peut orienter les élèves vers des activités connexes plus simples, ou les aider à chercher un aspect plus abordable du problème original.

Comment formuler des questions écrites pour évaluer le degré de compréhension?

Les tests écrits ne constituent généralement pas le meilleur moyen de sonder le degré de compréhension des élèves; cependant, beaucoup d'écoles exigent que les élèves subissent ce genre d'examens à des intervalles réguliers. En pareil cas, il appartient à l'enseignant de les utiliser pour vérifier le degré de compréhension des élèves et non seulement la somme des connaissances qu'ils ont accumulées. C'est un autre moyen d'obtenir des informations sur le développement intellectuel des élèves. Dans l'élaboration des questions conçues pour vérifier le degré de compréhension de l'élève, il convient de tenir compte des principes suivants:

1. Il ne faut pas que les élèves soient capables de répondre aux questions en reproduisant les informations ou les idées qu'ils ont apprises par cœur.
2. Pour chaque question, l'enseignant doit déterminer le niveau de compréhension qu'il veut vérifier et concevoir le problème en conséquence. Le guide devrait fournir une aide utile à cet égard.

L'ensemble du test doit comporter des questions dont le degré de difficulté est variable.

3. Une question ouverte, donnant lieu à plusieurs réponses correctes, est particulièrement utile. Du fait que plusieurs réponses sont possibles, chaque élève pourra vraiment y donner sa mesure, selon son degré de développement intellectuel.

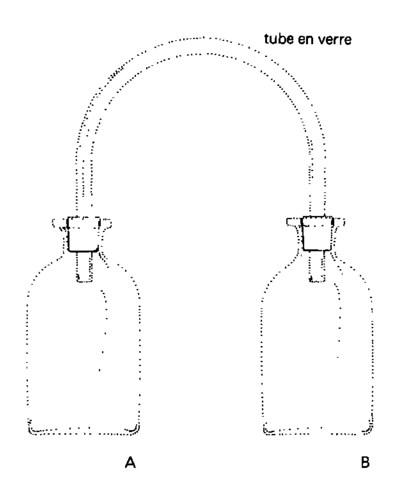
Les deux exemples ci-dessous illustrent ces principes:

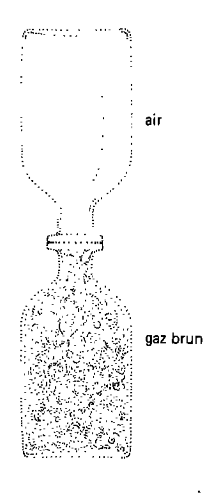
L'activité 2.53 du *Nouveau manuel de l'Unesco pour l'enseignement des sciences* concerne la diffusion des gaz. On remplit une bouteille de dioxyde de carbone et on la renverse ensuite sur une bouteille identique pleine d'air (voir figure ci-après). Au bout de quelques minutes, on peut détecter du dioxyde de carbone dans la bouteille inférieure, en utilisant de l'eau de chaux. Si on remplit la bouteille inférieure de dioxyde de carbone et qu'on renverse sur elle une bouteille d'air, on pourra détecter la présence de dioxyde de carbone dans cette dernière après quelques minutes.

L'enseignant voudra probablement que le plus d'élèves possible se rendent compte que leurs observations révèlent une caractéristique générale des gaz et puissent expliquer cette propriété par la nature particulaire de la matière. Il faudra cependant réserver cette activité aux élèves plus avancés; même ceux qui ont atteint le stade 2B seront incapables de généraliser leurs résultats spontanément, surtout du fait que la preuve de la présence de dioxyde de carbone est indirecte.

Pour vérifier le degré de compréhension de cet exercice au niveau 2B, quelles sont, parmi les questions suivantes, celles qui vous semblent le plus appropriées?

1. Lorsqu'on a rempli le bocal inférieur de dioxyde de carbone, est-ce qu'une partie du gaz est passée dans le bocal supérieur? Comment le savez-vous?





2. Définissez la diffusion des gaz et donnez un exemple.
3. Expliquez comment un gaz lourd peut se répandre en montant vers un gaz plus léger.
4. Le dioxyde d'azote est un gaz brun plus lourd que l'air. Si vous renversez un bocal rempli d'air sur un bocal rempli de gaz brun, comme dans la figure, quels seront, à votre avis, les changements que vous constaterez après environ cinq minutes? Expliquez votre réponse.
5. Le bocal A est rempli de dioxyde de carbone et le bocal B d'air. Si on les laisse quelque temps sans y toucher, est-ce qu'une partie du dioxyde de carbone du bocal A passera dans le bocal B? Expliquez votre réponse.

La question 1 demande à l'élève de se rappeler les résultats de l'exercice. C'est une question parfaitement appropriée à cette fin, mais elle ne permet pas de vérifier le degré de compréhension. Un élève du niveau 2A pourra donner une réponse adéquate, mais cela n'aura pas de sens tant qu'il n'aura pas atteint un degré de compréhension supérieur. Les élèves qui se souviendront simplement des observations mais sans comprendre leur sens pourront répondre aux questions 2 et 3. La question 3 ne paraît pas pouvoir être expliquée sans le recours à un modèle abstrait de la nature particulaire des gaz. Si l'on a déjà expliqué à l'élève le phénomène de la diffusion, il lui suffira de s'en souvenir. Cette question ne fait appel à sa compréhension que s'il a déjà pris connaissance de la nature particulière de la matière dans d'autres circonstances et si on lui demande d'appliquer cette connaissance à un problème nouveau. Pour cela, il faut que la pensée ait atteint au moins le stade 3A.

La question 4 représente, elle, un test de compréhension en ceci que les élèves doivent se rendre compte que d'autres gaz se comportent de la même façon que le dioxyde de carbone. Comme la disposition matérielle est la même que dans l'activité originale, un grand nombre d'élèves du niveau 2B doivent pouvoir donner la bonne réponse. La question 5 incite les élèves à réfléchir davantage, car la situation y est très différente de la situation originale. Ici, l'élève doit comprendre la nature de la diffusion afin de donner une réponse juste et une raison acceptable. Si l'élève se rend compte qu'un gaz se dégage dans toutes les directions, il est capable de comprendre le phénomène de la diffusion, mais vraisemblablement pas avant d'avoir atteint le niveau 3A. Comprendre la diffusion par recours à un modèle du comportement des particules exige encore davantage des capacités intellectuelles de l'élève; mais malgré la difficulté que représente cette question, il ne faut pas l'éliminer du test. Si l'éducateur est conscient du niveau intellectuel requis par la question, toutes les réponses données lui fourniront des informations utiles sur le degré de compréhension de l'élève.

Notre second exemple concerne la recherche des aliments dont les mouches du vinaigre se nourrissent (voir plus haut). Examinons la valeur des questions suivantes:

1. Comment ces mouches mangent-elles?
2. Que mangent-elles?
3. Qu'est-ce qui prouve qu'elles mangent des bananes mûres?
4. Comment pouvez-vous vérifier si ces mouches aiment manger des tomates mûres?
5. Comment pouvez-vous vérifier si elles préfèrent les bananes mûres à celles qui ne le sont pas?

L'élève ne peut pas répondre à la première question en partant de sa propre expérience; elle ne convient donc pas pour tester le degré de compréhension de l'exercice. A la question 2, l'élève peut répondre en mémorisant soit une formule, soit une observation. Les deux sont possibles au stade 2A. A la question 3, l'élève ne peut répondre que s'il en a déjà fait l'expérience, car il doit décider lesquelles de ses observations correspondent à la question. Les deux dernières questions sont plus ouvertes, car elles l'incitent à concevoir une expérience qui lui permettra de fournir la réponse. La dernière question requiert des vérifications plus élaborées que la question 4, car il s'agit de donner une réponse sans équivoque. Dans les deux cas, des réponses différentes peuvent révéler des niveaux intellectuels différents, à partir du stade 2A.

Ces exemples concernent le degré de compréhension d'activités spécifiques. La Science Curriculum Improvement Study [Étude pour l'amélioration des programmes de sciences] met l'accent sur des objectifs liés au développement de capacités intellectuelles spécifiques et formule des questions visant à évaluer les résultats des élèves à cet égard. Dans l'une de ces questions, par exemple, il est demandé aux élèves d'identifier le plus grand nombre possible de variables pouvant influer sur les résultats d'une expérience simple dont on fait la démonstration devant eux.

Conclusions

Dans ce chapitre, nous avons tenté de communiquer notre conviction que la connaissance des modes de développement de l'enfant constitue un outil précieux pour les enseignants des matières scientifiques. On peut mettre cette connaissance en application de quatre manières principales:

1. La connaissance des principaux aspects du développement affectif et intellectuel permet à l'enseignant de mieux comprendre les

capacités et les limites de ses élèves. Elle le met ainsi en mesure de s'occuper d'eux de façon plus efficace non seulement en tant que groupe, mais aussi et surtout en tant qu'individus.

2. L'apprentissage dépend à la fois du développement intellectuel et affectif, que certaines caractéristiques du cadre éducatif stimulent; il s'agit notamment d'appliquer des méthodes actives et d'offrir aux élèves de multiples possibilités de discuter de leur travail et de déterminer eux-mêmes tant leurs activités que la façon dont ils s'y prendront.
3. Il existe diverses méthodes de diagnostic qui permettent aux enseignants de se faire une idée du niveau de développement atteint par chaque élève.
4. Les enseignants doivent constamment prendre des décisions dont beaucoup concernent le choix des activités et la méthode de travail. Pour l'élève, les conditions optimales sont celles qui assurent le plus grand nombre de points de correspondance entre l'activité considérée et les caractéristiques de l'élève. On peut réaliser cette adaptation, du moins en partie, grâce au «Guide pour le diagnostic et la conception d'expériences d'apprentissage», présenté précédemment.

A plusieurs reprises, nous avons mentionné les conséquences néfastes qu'entraîne le fait d'exiger de l'élève plus qu'il ne peut fournir eu égard à son niveau de développement. Pour cette même raison, un certain nombre de programmes d'enseignement des sciences, tant traditionnels que modernes, sont inutilisables avec des élèves «moyens». Nous avons moins insisté sur un aspect pourtant tout aussi important de cette «harmonisation»: il faut éviter de sous-estimer les capacités de l'élève. Il faut réserver certains sujets comme le principe d'Archimède ou la structure nucléaire aux élèves parvenus au stade de la pensée oratoire formelle, car on ne peut pas aborder le contenu mathématique et conceptuel de ces sujets avant ce stade. Un grand nombre d'autres sujets que l'on considère souvent comme «difficiles», comme l'accélération, sont accessibles aux élèves à un niveau intuitif, à condition toutefois qu'on leur présente des matériaux qu'ils peuvent manipuler eux-mêmes et qu'on ne traite pas la question en termes quantitatifs.

L'approche générale que nous préconisons ici est identique à celle qu'utilisent plusieurs projets récents d'enseignement des sciences. On peut citer, entre autres, l'Australian Science Education Project, au niveau secondaire, la Science 5/13 (niveau élémentaire au Royaume-Uni) et la Science Curriculum Improvement Study (niveau élémentaire aux États-Unis). Tous ces programmes font appel à l'activité personnelle des élèves et utilisent des matériels conçus pour atteindre des objectifs adaptés à leur niveau de développement.

Bibliographie annotée

OUVRAGES GÉNÉRAUX SUR LA RECHERCHE DE PIAGET

FLAVELL, J. H. *The developmental psychology of Jean Piaget.* New York, N. Y. Van Nostrand Reinhold, 1963. 472 p.
Le compte rendu le plus complet de l'œuvre de Piaget jusqu'au début des années soixante.

GINSBURG, H.; OPPER, S. *Piaget's theory of intellectual development; an introduction.* Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1969, 237 p.

MODGIL, S. *Piagetian research: a handbook of recent studies.* Windsor, NFER Publishing, 1974. 476 p.

——; MODGIL, C. *Piagetian research: compilation and commentary.* Windsor, NFER publishing, 1976. 8 vol.
Les deux sources ci-dessus résument les travaux de recherche liés à l'œuvre de Piaget. Dans la seconde édition, les sections suivantes présentent un intérêt particulier: vol. 4, première partie: Le programme d'enseignement; vol. 5, première partie: Personnalité, socialisation et affectivité; vol. 6: L'approche de la moralité par le développement cognitif; vol. 8: Études interculturelles.

PIAGET, J. Piaget's theory. Dans: Mussen, P. H. (dir. publ.). *Carmichael's manual of child psychology,* 3e éd. New York, N.Y.; Wiley, 1971.

——; INHELDER, B. *La psychologie de l'enfant.* Paris, PUF, 1973. (Coll. Que sais-je?)
Ce sont les deux meilleurs comptes rendus par Piaget lui-même. Comme la plupart de ses écrits, ils ne sont pas très faciles à lire.

RICHMOND, P. G. *An introduction to Piaget.* London, Routledge Kegan Paul, 1970. 120 p.

LA VARIABILITÉ DES DEGRÉS DE DÉVELOPPEMENT

DASEN, P. R. Cross-cultural Piagetian research: a summary. *Journal of cross-cultural psychology* (Beverly Hills, Calif.), vol. 3, nº 1, mars 1972, p. 23–29.
Donne un aperçu des travaux de recherche utilisant les tâches conçues par Piaget dans un grand nombre de pays du tiers monde.

OHUCHE, R. O.; PEARSON, R. E. Piaget and Africa: a survey of research involving conservation and classification in Africa. *The development of science and mathematics concepts in young children in African countries,* p. 43-59. Nairobi, Unesco/Unicef, 1974. 96 p.
Résumé des travaux menés en Afrique dans le sillage de Piaget, y compris de travaux postérieurs à l'étude de Dasen. Cet article a été reproduit dans le volume 8 de l'ouvrage des Modgil (1976), qui comporte également d'autres documents sur ce sujet.

SHAYER, M. Development of thinking of middle school and early secondary school pupils. *School science review* (London), vol. 57, nº 200, mars 1976, p. 568–571.
Selon une vaste étude d'un échantillon représentatif d'élèves anglais, moins de 20 % des élèves âgés de 14 ans avaient atteint le stade de la pensée opératoire formelle. Ce pourcentage est bien supérieur dans des écoles très sélectives. Ces conclusions se recoupent avec une autre recherche de grande envergure menée aux États-Unis et dans plusieurs pays européens mais qui est encore inédite.

AUTRES THÉORIES DE L'INTELLIGENCE

AUSUBEL, D. P. *Educational psychology: a cognitive view.* New York, N. Y., Holt Rinehart and Winston, 1968.

BRUNER, J. S. *Beyond the information given.* Textes choisis et présentés par J. M. Anglin. New York, N. Y., W. W. Norton, 1973. 502 p.

——. *Toward a theory of instruction.* New York, N. Y., W. W. Norton, 1966. 176 p.
Sélection d'articles de Bruner. La dernière section, qui concerne l'éducation, est particulièrement intéressante.

GAGNÉ, R. M. *Les principes fondamentaux de l'apprentissage. Application à l'enseignement.* Trad. de l'anglais. Montréal, Holt, Rinehart and Winston, 1978. 148 p. [*Distributeur:* Éditions Doin, Deren et Cie, 8 place de l'Odéon, 75006 Paris, France.]

LE DÉVELOPPEMENT AFFECTIF

KOHLBERG, L. Stages of moral development as a basis for moral education. Dans Beck, C. M.; Crittenden, B. S.; Sullivan, E. V. (dir. publ.). *Moral education: interdisciplinary approaches.* p. 23–92. New York, N. Y., Newman Press, 1971. 402 p.
Les idées de Kohlberg sur le développement moral correspondent à celles de Piaget, mais il les développe avec plus de détails.

PIAGET, J.; INHELDER, B. *La psychologie de l'enfant.* Paris, PUF, 1973. (Coll. Que sais-je?)
Cet ouvrage constitue l'expression la plus explicite des idées de Piaget sur le développement affectif. On trouve aussi des références à ses théories dans les ouvrages de Flavell, de Modgil et de Modgil et Modgil.

LES IMPLICATIONS POUR L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES

ATHEY, I. J.; RUBADEAU, D. O. (dir. publ.). *Educational implications of Piaget's theory.* Waltham, Mass., Ginn-Blaisdell, 1970.

FURTH, H. G. *Piaget for teachers.* Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1970.

KOHLBERG, L.; TURIEL, E. Developmental methods in moral education. Dans: Lesser, G. (dir. publ.). *Psychology and educational practice.* Chicago, Ill. Scott, Foresman, 1971.
Les grandes lignes de la théorie de Kohlberg sur le développement moral et ses implications en matière d'éducation.

LOVELL, K. *The growth of basic mathematical and scientific concepts in children,* 5e éd. London, University of London Press, 1971. 158 p.
Donne un aperçu des recherches expérimentales de Piaget et d'autres auteurs dans divers domaines de l'enseignement des mathématiques et des sciences; propose des moyens pour adapter l'enseignement dans ces domaines aux différentes étapes du développement de l'enfant.

——. Intellectual growth and understanding science. *Studies in science education,* vol. 1, nº 1, 1974, p. 1–19.
Se limite à l'enseignement des sciences; s'applique à un niveau plus élevé que l'ouvrage de Lovell précédent.

MASLOW, A. H. Some educational implications of the humanistic psychologies. *Harvard educational review* (Cambridge), vol. 38, nº 4, automne 1968, p. 685–696.
Expose surtout la théorie personnelle de Maslow, attaché à l'idée que l'éducation doit pouvoir aider l'individu à fixer ses propres buts et à réaliser son potentiel plutôt qu'à l'orienter vers la réalisation de buts fixés par d'autres.

PIAGET, J. *Psychologie et pédagogie.* Paris, Denoël, 1973. 266.

——. Fondements scientifiques pour l'éducation de demain. *Perspectives: revue trimestrielle de l'éducation* (Paris, Unesco), vol. II, nº 1, printemps 1972, p. 13–30.
Piaget a écrit relativement peu sur les conséquences pédagogiques de son œuvre. Les deux sources ci-dessus comptent parmi ses écrits les plus étendus sur ce thème.

SCHWEBEL, M.; RAPH, J. (dir. publ.). *Piaget à l'école.* Paris: Denoël; Gonthier, 1976. 288 p.
Sélection d'articles de valeur différente sur les conséquences pédagogiques de la théorie de Piaget. L'accent est mis sur l'éducation en début d'école primaire. Les articles de Constance Kamii sont particulièrement utiles. Voir aussi les chapitres sur les implications pédagogiques dans Ginsburg et Opper, dans Richmond, et dans le volume 4 de Modgil et Modgil.

LES ATTITUDES ENVERS LA SCIENCE

GARDNER, P. L. Attitudes to science: a review. *Studies in science education,* vol. 2, 1975, p. 1–41.

ORMEROD, M. B.; DUCKWORTH, D. *Pupils' attitudes to science.* Windsor, NFER Publishing, 1975.
Ces deux ouvrages passent en revue un grand nombre de recherches menées dans ce domaine.

LES SOURCES DE TÂCHES SELON PIAGET

FOGELMAN, K. R. *Piagetian tests for the primary school.* London, NFER Publishing, 1970. 72 p.
Contient de très brèves descriptions d'un certain nombre de tâches ainsi que des résultats obtenus par divers éducateurs. Voir aussi l'ouvrage de Lovell pour d'autres tâches.

INHELDER, B.; PIAGET, J. *De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent.* Paris, PUF, 1955. (Bibliothèque de philosophie contemporaine.)
Décrit quinze tâches semblables aux expériences scientifiques qui sont souvent utilisées dans les écoles secondaires. Les réponses d'élèves ayant servi à l'élaboration du guide sont tirées de cet ouvrage. Beaucoup d'autres écrits de Piaget comportent la description de tâches dans des domaines particuliers tels que le temps, la vitesse, l'espace, la géométrie, le hasard, la classification, etc.

SOMERVILLE, S. The pendulum problem: patterns of performance defining developmental stages. *British journal of educational psychology* (Edinburgh), vol. 44, nº 3, november 1974, p. 266–281.
Analyse en détail les réponses d'élèves au problème du pendule (exercice 3) qui est tiré de l'ouvrage précédent.

ANALYSE DES EXIGENCES CONCEPTUELLES DU PROGRAMME D'ÉTUDES

INGLE, R. B.; SHAYER, M. Conceptual demands in Nuffield O-level chemistry. *Education in chemistry* (London), vol. 8, nº 5, septembre 1971, p. 182–183.

SHAYER, M. Conceptual demands in the Nuffield O-level biology course. *School science review* (London), vol. 56, nº 195, décembre 1974, p. 381–388.

——. Conceptual demands in the Nuffield O-level physics course. *School science review* (London), vol. 54, nº 186, septembre 1972, p. 26–34.
Shayer a élaboré un schéma, semblable au guide présenté ici, dont il s'est servi pour analyser les différents programmes d'enseignement des sciences au niveau O (ordinaire) du Projet Nuffield et pour illustrer les nombreux cas où les exigences conceptuelles d'un programme dépassent le niveau de développement intellectuel de la plupart des élèves. La thèse de Shayer (voir ci-dessous) expose sa méthode d'analyse dans les détails.

——. *Piaget's work ans science teaching.* Leicester, University of Leicester, 1972. (Thèse inédite de maîtrise en sciences de l'éducation.)

QUELQUES PROJETS D'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES
PRÉSENTANT UN INTÉRÊT PARTICULIER

African Primary Science Program [Programme scientifique élémentaire pour l'afrique – APSP].
Ce projet a conduit à l'élaboration d'un certain nombre d'activités « ouvertes », utilisant des matériels et des expériences qui font partie de l'environnement des élèves. On peut se procurer ces documents auprès des ministères de l'éducation des pays qui patronnent le *Science Education Programme for Africa* [Programme d'enseignement des sciences pour l'Afrique] qui a remplacé l'APSP.

Australian Science Education Project [Projet australien d'enseignement des sciences], Curriculum Development Centre, Australian Department of Education, 450 St. Kilda Road, Melbourne, Victoria, Australia.
Les matériels à l'intention des écoles secondaires s'inspirent des stades de développement conçus par Piaget; ils utilisent des méthodes actives et proposent à l'enseignant et aux élèves un grand choix de sujets.

Progress in Learning Science [Amélioration de l'enseignement des sciences], Schools Council, Information Section, 160, Great Portland Street, London W1N 6LL, Royaume-Uni.
Ce projet a pour but d'aider les enseignants à diagnostiquer le développement des attitudes et capacités des élèves par l'observation, ainsi qu'à déterminer les activités qui conviennent.

Science Curriculum Improvement Study [Étude pour l'amélioration des programmes de science], Lawrence Hall of Science, University of California, Berkeley, Calif. 94720, États-Unis d'Amérique.
Les matériels conçus pour les écoles élémentaires s'inspirent des stades de développement de Piaget. L'évaluation utilise des tâches semblables à celles de Piaget pour vérifier le degré de compréhension et de développement de l'élève.

Science 5/13, Schools Council, Information section, 160, Great Portland Street, London W1N 6LL, Royaume-Uni.
Dans un certain nombre de domaines, les objectifs sont basés sur les stades de développement conçus par Piaget. Propose des activités permettant d'atteindre ces objectifs.

Chapitre 3
Contenus et méthodes

Les modèles traditionnels

A l'école secondaire

Le fait que dans l'enseignement secondaire, les cours de sciences étaient élaborés en vue de répondre aux besoins et exigences — réels ou supposés — des universités, avait une influence majeure à la fois sur le contenu de ces cours et sur les méthodes d'enseignement pratiquées. Les cours de sciences étaient, et sont toujours, fréquemment conçus comme des tremplins préliminaires à l'étude des sciences à l'université, et dans beaucoup d'écoles, en particulier dans les pays en développement, les programmes scientifiques étaient ajustés de façon encore plus précise à la préparation des élèves à l'examen d'entrée de telle ou telle université.

Traditionnellement, la méthode pédagogique suivie dans les établissements secondaires est calquée sur celle qui caractérise encore trop souvent les cours à l'université: conférence, récitation, diagnostic de laboratoire, à cette différence près, malheureusement, que, dans beaucoup de pays, le travail de laboratoire est encore plus négligé dans le secondaire qu'au niveau supérieur. Le professeur du secondaire voit en ses maîtres universitaires des modèles à imiter, si bien que dans beaucoup trop de classes de sciences, «enseigner c'est dire, et apprendre c'est écouter». A l'heure actuelle, une telle méthode d'enseignement des sciences est tout à fait inadéquate pour beaucoup de jeunes élèves des établissements secondaires.

Tant que l'école secondaire était au service des élèves préparant leur entrée à l'université, les cours scientifiques orientés vers l'examen avaient au moins le mérite de préparer la sélection des élus d'après certains critères. Il en résultait des méthodes pédagogiques très didactiques qui consistaient à mettre en relief les faits scientifiques puis à procéder à des tests rapides pour vérifier les connaissances, mais négligeaient en grande partie des domaines aussi importants que l'enquête et la démarche scientifique.

La première modification à cet état de choses apparut lorsque l'enseignement secondaire fut ouvert à un plus grand pourcentage de la population et qu'il devint nécessaire pour les écoles de se pencher sur les besoins d'une jeunesse qui ne se destinait pas à des études universitaires. Aux États-Unis, au Canada, au Royaume-Uni, en Nouvelle-Zélande et dans d'autres pays, cela conduisit à l'élaboration de cours «simplifiés», dits de chimie appliquée ou de sciences physiques. Cette procédure eut peu d'effet sur l'évolution des programmes scientifiques puisque ces cours n'ont pas suscité l'intérêt des élèves pour lesquels ils avaient été conçus et que leur fréquentation est restée réduite, sauf s'ils étaient obligatoires. Dans certains de ces pays et dans d'autres tels qu'Israël et la République fédérale d'Allemagne, une autre tendance a consisté à offrir un enseignement technique et professionnel au niveau du secondaire. On inaugura des cours spécialisés de sciences ou de technologie tels que «électronique», «agriculture» ou «mécanique pratique» et ces cours se poursuivent avec des fortunes variables. Ces nouveautés furent rapidement intégrées à l'enseignement technique et professionnel et nous ne les examinerons pas plus avant dans cet aperçu des programmes scientifiques.

Dans le monde entier, cette combinaison des cours académiques traditionnels et des cours professionnels plus récents a caractérisé l'enseignement scientifique dans le secondaire jusqu'aux années cinquante. A partir de là, un grand nombre de mouvements de réforme des programmes scientifiques dans l'enseignement secondaire se sont dessinés dans plusieurs pays de différentes parties du monde. Les innovations qui en résultèrent s'étendirent bientôt à d'autres pays, où apparurent des adaptations ou des combinaisons locales intéressantes.

A l'école primaire

L'intérêt porté à l'enseignement des sciences et à l'élaboration des programmes en vue de leur application aux écoles primaires a évolué partout beaucoup plus lentement. A l'origine, l'enseignement des sciences à l'école primaire a consisté à observer la nature sur le terrain dans le cadre de cours supplémentaires proposés par des maîtres dévoués dans certaines écoles et certains pays. Bien que l'on puisse prouver l'existence de ce type de cours dès le XIXe siècle, c'est seulement au cours de la première moitié du XXe siècle, avec l'accroissement irrésistible de l'intérêt porté par la société aux sciences et à la technologie, que furent élaborés pour les écoles primaires des programmes scientifiques officiels sur une vaste échelle. Malheureusement, ces programmes comprenaient essentiellement des «lectures scientifi-

ques». Là où des expériences ou des activités d'élèves étaient conseillées, toutes les réponses relatives aux résultats étaient fournies, si bien que les élèves pouvaient facilement se contenter de lire pour trouver la réponse au lieu de se livrer à ces expériences. S'ils existaient, les matériels nécessaires à ces expériences ou à l'usage des élèves étaient des matériels d'appoint dans la plupart des écoles où étaient enseignées les sciences.

A cette époque, les sciences faisaient l'objet d'études livresques ou, parfois, visuelles, au moyen de films ou de vues fixes, mais non d'expériences directes. Il convient de remarquer, toutefois, que même ces programmes livresques n'étaient vraiment utilisés que dans une minorité d'écoles, dans quelque pays que ce soit. Les études faites aux États-Unis indiquent que, même jusqu'aux années cinquante, on consacrait dans les écoles élémentaires moins d'une demi-heure par semaine aux sciences. Encore maintenant, beaucoup d'écoles n'ont pas de véritable programme de sciences élémentaires.

Certains de ces programmes de «sciences par le livre», fondés sur la mémorisation de termes et d'idées complexes sans expériences préliminaires, vont à l'encontre de la démarche scientifique et sont bien pires que l'absence pure et simple de programme. Par exemple, on peut apprendre à des enfants de sept ans les noms savants de beaucoup d'animaux, ainsi qu'à dessiner et à nommer des éléments de représentations idéalisées d'atomes et de molécules. Au mieux, la valeur scientifique de ces activités est très limitée. Pourtant, certains parents et administrateurs scolaires sont fortement impressionnés en entendant de jeunes enfants faire usage de ce genre de terminologie. Leur aptitude à comprendre ce qu'est une classification (par quoi se justifie l'attribution de noms scientifiques aux animaux) ou la nature particulaire de la matière (théorie complexe d'explication de la réalité par les atomes et les molécules) est inexistante.

En résumé, au milieu des années cinquante, on concevait les programmes scientifiques des écoles primaires et des écoles secondaires essentiellement comme des cours livresques et magistraux où un manuel servait à assimiler des faits et quelques principes scientifiques. La qualité de travaux pratiques utiles que l'on proposait était très limitée, aussi bien dans les écoles primaires que dans les écoles secondaires. Cette analyse est généralement exacte, même s'il est vrai que certaines écoles et certains maîtres assuraient des programmes tout à fait novateurs aussi bien au niveau primaire qu'au niveau secondaire.

Faits nouveaux

Depuis la fin des années cinquante, nous nous trouvons dans une période d'évolution très active des programmes scientifiques dans le monde entier. Des projets et programmes d'élaboration de matériels nouveaux ont été lancés dans de nombreux pays pour des raisons variées et ont bénéficié de toutes sortes d'encouragements internes et externes. Ces nouveaux programmes étaient destinés au secondaire ou au primaire et la nature de l'évolution à ces deux niveaux a été sensiblement différente.

Les programmes pour l'enseignement secondaire

L'étendue et l'orientation de la réforme des programmes scientifiques dans l'enseignement secondaire au cours des vingt dernières années ont été résumées comme suit par Baez et Alles [1]. Ils décrivent d'abord des projets tels que le PSSC (Physical Science Study Committee ou Comité d'étude des sciences physiques) et le CHEMS (Chemical Education Materials Study ou Étude des matériels d'enseignement de la chimie) aux États-Unis et les différents projets de Nuffield, par discipline et pour élèves moyens, au Royaume-Uni, projets qui procèdent essentiellement par voie d'enquêtes dans le cadre des différentes disciplines scolaires. A partir de ces travaux, ils définissent ce qu'ils appellent des programmes d'orientation humaniste se prêtant à une approche intégrée. Nuffield Secondary Science [Projet Nuffield d'enseignement des sciences au niveau secondaire] au Royaume-Uni, Agriculture as Biology [L'agriculture en tant que biologie] en Israël, Physics Project [Projet des sciences physiques] aux États-Unis et l'Australian Science Education Project [Projet australien de l'enseignement des sciences – ASEP], sont autant d'exemples de ces types de programmes. Après avoir cité des programmes spécialisés actuellement en cours d'élaboration en matière d'environnement, Baez et Alles prédisent que l'évolution future au niveau secondaire sera marquée par l'intégration des sciences et reposera sur trois notions majeures, à savoir: l'enquête, la motivation et l'aptitude à résoudre des problèmes réels.

Bien d'autres programmes ont été élaborés, depuis les cours Nuffield pour le niveau avancé, axés sur chaque discipline séparément, jusqu'au projet récemment achevé sous le nom de Schools Council Integrated Science Project [Projet du Conseil des écoles sur l'enseignement intégré des sciences] qui s'oriente vers l'intégration tout en espérant atteindre les objectifs traditionnels des disciplines scientifiques indépendantes. Cette importance accordée aux objectifs tradition-

nels des disciplines scientifiques distinctes se retrouve dans le mouvement appelé «Unified Science» aux États-Unis. Dans une grande partie des travaux achevés et dans la plupart de ceux qui sont en cours aux États-Unis, au Royaume-Uni, en France et en Australie, on insiste toujours, au niveau du deuxième cycle de l'enseignement secondaire, sur la nécessité de satisfaire aux exigences et aux objectifs des cours traditionnels des classes terminales, donnant la qualification requise pour l'entrée à l'université. Il faut noter que les décisions prises dans ces pays auront une influence très importante sur l'enseignement secondaire dans un grand nombre d'autres pays du monde qui, pour des raisons variées (tradition, désir de préparer les élèves à des études de haut niveau, etc.), fondent leur système éducatif sur ce qu'ils estiment être la situation dans ces pays. Par exemple, Winter dit dans son étude sur l'enseignement secondaire en Asie [2]: «Cependant, les plus grands problèmes liés à la réforme des programmes sont sans doute posés par les examens... il est assez étrange, alors que l'enseignement des sciences ne parvient à stimuler la curiosité, d'exiger observations, mesures, hypothèses, déductions et estimations. La science est un savoir que l'on acquiert par ces processus. Les hommes de sciences atteignent à l'excellence reconnue par leurs pairs du fait de leur habileté à pratiquer ces processus. Mais ces talents, ces aptitudes intellectuelles ne se développent pas chez l'élève, sans nourriture, ni lorsqu'ils sont égarés par la routine. C'est pourquoi, dans beaucoup de nations asiatiques, la réforme des examens est peut-être le plus grand pas qui ait été fait dans le sens d'une instruction plus efficace.»

Cette même idée a été soulignée pendant la conférence de l'Unesco [3] «Changing the curriculum» [La réforme des programmes], au cours de laquelle les participants s'accordèrent sur le fait que la modification du système des examens devait avoir la priorité principale dans la nécessaire réforme des programmes de l'enseignement secondaire, et ce *dans toutes les matières.* Parlant en particulier des sciences dans l'enseignement secondaire, les participants affirmèrent: «L'obstacle majeur à l'élaboration de cours scientifiques appropriés aux conditions locales est le système des examens externes.»

Les programmes dans l'enseignement primaire

Au cours des vingt dernières années, deux changements significatifs ont affecté les sciences au niveau élémentaire. Tout d'abord, l'idée même de concevoir les sciences comme une section importante de l'enseignement primaire s'est étendue à de nombreux pays. En second lieu, et ceci est tout aussi important, la nature des programmes scientifiques proposés à l'école primaire a changé de façon significative, tant par le

contenu que par les méthodes. Cette évolution a commencé par les programmes élaborés au Royaume-Uni et aux États-Unis, puis s'est étendue rapidement à des travaux actuellement en cours ou déjà achevés en Afrique et en Asie.

De façon générale, les matériels récemment élaborés ou en cours d'élaboration présentent certaines similitudes. Tout d'abord, l'accent est mis sur l'expérience directe de l'élève comme fondement de l'étude des sciences. Par exemple, dans le Programme d'enseignement des sciences pour l'Afrique (SEPA), l'observation d'organismes courants comme les fourmilions conduit à des expériences proposées par les élèves et comprenant des manipulations de variables, ce qui est essentiel à la compréhension des sciences modernes.

Comparons cela à de simples lectures traitant des fourmilions ou des mêmes variables dans un manuel scolaire: théoriquement, l'intérêt suscité par l'expérience conduira à des lectures approfondies. En second lieu, ce qui est au moins aussi important, le rôle dévolu au maître a été modifié: de pourvoyeur de faits, il est devenu celui qui facilite l'accès à des expériences instructives. L'idée que le maître parle tandis que l'élève écoute est en voie de disparition en tant que principale méthode d'enseignement des sciences élémentaires.

Les maîtres se considèrent de plus en plus comme des directeurs de travaux qui prévoient et organisent la fourniture d'équipements et de matériels d'apprentissage, puis écoutent et observent attentivement le travail des enfants pour pouvoir faire les remarques nécessaires ou poser la question opportune qui encourage l'enfant à approfondir et à élargir l'expérience instructive. La nature, les aptitudes, les goûts de chaque enfant pris individuellement, et des élèves en tant que groupe, deviennent une préoccupation majeure dans le projet et au cours de l'élaboration du programme global. Le rôle du maître, comme il a été dit ci-dessus, est de faciliter l'acquisition des connaissances. C'est ce souci de l'élève et de son développement intellectuel qui constitue le fondement philosophique et théorique de la primauté accordée à l'expérience directe. L'élève n'est plus considéré comme un réceptacle que l'on bourre des faits correspondant au programme de l'année, avant de le soumettre à examen pour déterminer quel pourcentage de ces faits il ou elle a retenu. Le programme est conçu pour aider l'élève à développer sa compréhension et son évaluation du monde par les voies de la pratique. L'expérience incite l'individu à analyser ce qui se passe, à reconsidérer ce qui est déjà connu, puis à parvenir à une nouvelle interprétation basée sur l'interaction des connaissances antérieures et des expériences en cours.

Cette orientation requiert un programme scientifique en rapport avec les goûts et les aptitudes du groupe d'élèves auquel il est destiné. Cela signifie que le maître doit interpréter l'ensemble des objectifs à

long terme de ce programme en fonction des élèves, et non pas l'anarchie intellectuelle avec pour corollaire une méthode pédagogique du genre: «Que faisons-nous aujourd'hui, les enfants?». Ce qu'il faut, c'est que les maîtres et les groupes chargés d'élaborer les programmes spécifient ce qui est nécessaire et utile à la compréhension et à l'appréciation des sciences. L'idéal serait que les maîtres utilisent leur savoir et leur intelligence pour structurer les connaissances, les goûts et les activités des enfants en vue de réaliser ces objectifs. C'est là, toutefois, une vue idéaliste, qui impose un énorme fardeau au maître de l'enseignement primaire, généralement responsable de trente élèves ou plus et, dans la plupart des cas, de toutes les autres disciplines en plus des sciences. Aussi faut-il aider le maître et faire en sorte que l'approche reste réaliste et praticable.

Les programmes scientifiques élémentaires (et probablement tous les autres) doivent être élaborés sur le plan local, en fonction des problèmes et des circonstances dans un pays donné se trouvant à une certaine étape de son développement. C'est une perte de temps et de ressources que d'emprunter à un autre pays ses programmes scientifiques élémentaires, même si l'on prétend les «adapter». Il vaut mieux que des groupes locaux d'hommes de science, de psychologues, d'enseignants et autres, se rendent dans leur laboratoire: la salle de classe. Ils pourront alors déterminer la nature de l'élève auquel ils s'intéressent et élaborer des matériels qui seront utiles dans la situation locale. Cela ne veut pas dire qu'il faille tout réinventer chaque fois. Une fois qu'un groupe de travail connaîtra bien son groupe d'élèves, il pourra utiliser des modules, activités, méthodes, etc., empruntés à d'autres parties du monde comme base du projet et de l'élaboration de matériels appropriés à la situation locale. Bien entendu, cette approche requiert que l'élaboration de programmes scientifiques soit un effort soutenu en permanence. Elle devra constamment réagir aux changements généraux dans la société locale, mais aussi aux changements qui se produiront du fait que de jeunes élèves expérimenteront ce programme. Les exemples qui suivent montrent que ce processus peut se développer et se développe effectivement de façons très différentes; et ce qui est plus important encore, les exemples empruntés à Israël et aux Philippines décrivent une méthode viable permettant d'intégrer l'ensemble du processus à la formation des maîtres et autres responsables de l'enseignement.

Matal, ou l'enseignement des sciences dans les écoles élémentaires en Israël. Soutenu par le Centre israélien d'enseignement des sciences, conçu et dirigé par Meier Feuchtwanger du Département d'enseignement de la physique de l'Université de Tel Aviv, Matal était à l'origine une petite activité de recherche et de développement pour l'enseigne-

ment élémentaire des sciences. Après avoir passé en revue des matériels et des programmes empruntés à différentes parties du monde, ce projet décida d'adapter et de traduire un ou deux programmes afin de les mettre à l'essai dans les écoles élémentaires israéliennes. Le succès de ces expérimentations limitées conduisit à des études plus poussées puis à la décision de produire un programme local pour les écoles élémentaires d'Israël.

Sous la direction de David Chen, doyen de l'Institut pédagogique de l'Université de Tel Aviv, ce projet est devenu une grande entreprise d'élaboration d'un programme national. Il porte non seulement sur l'étude et la production de matériels, mais aussi très largement sur la formation des maîtres, et il comporte des recherches et des analyses plus générales sur le développement de l'instruction en Israël. Toutes les recherches relatives à l'élaboration des programmes sont intégrées aux activités de l'Institut pédagogique, et il est maintenant possible aux étudiants avancés de bénéficier d'un entraînement à la fois pratique et théorique sur les tenants et aboutissants de l'élaboration des programmes de sciences.

Le Centre d'enseignement des sciences de l'Université des Philippines. Le Centre d'enseignement des sciences de l'Université des Philippines se consacre à l'élaboration de matériels pour l'enseignement des sciences et des mathématiques aux niveaux élémentaire et secondaire. Ce travail s'effectue avec la coopération de scientifiques, d'enseignants et de spécialistes de l'enseignement des sciences. Des matériels d'origine locale sont utilisés pour les activités de biologie, de physique et de chimie. En voici quelques exemples au niveau de l'enseignement secondaire: utilisation de la flore et de la faune locales pour illustrer les relations, dans une communauté biotique, du kérabau (buffle de Malaisie) et de la charrue pour étudier la notion de travail, des barrages d'irrigation pour étudier la pression, extraction de l'huile de palme, utilisation des plantes et feuilles locales comme indicateurs d'acides et de bases, étude des gaz dans les eaux des lacs. Bien que dans le secondaire, le programme tourne toujours autour de certaines questions dérivées des exemples cités plus haut, on constate sans peine que des questions scientifiques plus synthétiques sont étudiées dans le cadre des différentes disciplines. Au niveau élémentaire, un grand effort de conception et d'élaboration est en cours, aboutissant à la production de matériels localement définis pour chaque classe. Dans le cadre d'un plan national d'amélioration de l'enseignement des sciences et des mathématiques, le Centre universitaire des Philippines est en rapport avec neuf centres régionaux du pays, situés dans des collèges et des universités, qui poursuivent la formation des maîtres et la mise en œuvre de nouveaux programmes. Ces centres forment des enseignants

responsables qui retourneront dans leurs écoles et y tiendront ce qu'on appelle des «séminaires en différé». Comme le personnel des centres régionaux reçoit une formation de haut niveau dispensée par le personnel du Centre universitaire des Philippines, une approche soigneusement programmée est pratiquée afin de multiplier l'influence et l'efficacité du centre national. Toute cette démarche est considérée comme permanente.

Science Education Programme for Africa (SEPA) [Programme d'enseignement des sciences pour l'Afrique]. Dérivé du Programme scientifique élémentaire pour l'Afrique, que soutiennent les États-Unis par l'intermédiaire du Centre de développement de l'enseignement, le SEPA est devenu un consortium multinational permanent qui a pour objet d'élaborer des matériels et d'améliorer la formation des maîtres dans un vaste secteur de l'Afrique. Dans le *Handbook for teachers* [Manuel du maître] [4] publié en 1974, ce programme, après avoir indiqué l'importance qu'il attache à l'expérimentation par les enfants et son souci d'adapter cette expérimentation au développement intellectuel des enfants, décrit ensuite ses préoccupations pédagogiques: «Dans la première étape d'un processus à long terme ayant pour objet la réalisation de changements dans l'enseignement, le SEPA a décidé d'élaborer de nouveaux matériels et de nouvelles stratégies susceptibles d'améliorer la formation initiale des maîtres. Si le processus de changement par la création d'attitudes nouvelles s'effectue avant l'entrée en fonctions du maître, les bénéfices d'ordre professionnel pour celui-ci et d'ordre économique pour la société seront plus importants. Lorsque les jeunes maîtres auront acquis plus de souplesse dans leur approche de l'enseignement, ils seront mieux à même de résoudre des situations pratiques à mesure qu'elles se présenteront.»

Comme il ressort de ces trois exemples, les ingrédients essentiels sont le recours à l'expérience instructive, le souci de l'élève, l'amélioration des qualités du maître et l'adhésion à un processus continu d'élaboration et de mise en œuvre des programmes. Cette adhésion pourrait bénéficier d'un soutien peu coûteux grâce à la coopération des associations professionnelles d'enseignants, dont l'efficacité dans d'autres pays tend à s'accroître. Il convient d'explorer plus avant les possibilités et les avantages de cette ressource.

Vers l'intégration de la totalité de l'expérience scientifique de l'élève

Il ressort des descriptions et des analyses précédentes qu'aux niveaux primaire et secondaire, les évolutions récentes se sont engagées dans des voies très différentes. Au niveau du secondaire, jusque tout récemment, l'accent était mis sur la modernisation et l'amélioration des cours organisés à l'origine discipline par discipline pour l'élève qui se proposait de se spécialiser dans les sciences. Au niveau du primaire par contre, l'attention s'est portée sur l'élève et sur l'ensemble de ses besoins et de ses goûts en matière d'instruction. La description qui suit de l'évolution du programme de l'Unesco en matière d'enseignement intégré des sciences admet au moins indirectement cette différence et la justifie dans une certaine mesure.

L'Unesco a lancé son propre programme d'enseignement intégré des sciences en réponse aux demandes de plusieurs États membres qui souhaitaient qu'on les aidât à concevoir des cours de sciences contribuant à la formation générale de tous les élèves. En 1969, l'année où ce programme fut lancé, la préoccupation dominante était que les cours scientifiques scolaires ne fussent plus uniquement, ou principalement, conçus, selon une vieille habitude, comme une préparation à la poursuite d'études scientifiques aux niveaux plus élevés. C'est cette conception de l'enseignement des sciences qui fut admise au Congrès de Varna sur l'enseignement intégré des sciences [5] et c'est là que furent définies quelques-unes des caractéristiques d'un cours de sciences de cet ordre. Il fut convenu que, pour contribuer utilement à l'instruction générale, un cours de sciences devrait attirer l'attention des élèves sur l'importance de l'observation afin d'élargir leur compréhension du monde environnant; il devrait les aider à prendre conscience des modes de réflexion et des méthodes de travail propres aux sciences; il devrait les aider à développer leur goût pour les sciences et soumettre à leur attention certains grands problèmes liés aux sciences et auxquels l'humanité dans son ensemble et la société dans laquelle ils vivent en particulier se trouvent confrontées. Compte tenu de ces considérations, l'enseignement intégré des sciences a été défini comme: «Un mode de présentation des concepts et des principes scientifiques qui permet d'exprimer l'unité fondamentale de la pensée scientifique et d'éviter de mettre trop, ou trop tôt, l'accent sur les différences entre les divers domaines scientifiques [5].»

Les incidences de ces idées ont une grande portée. Dans les pays où une grande majorité des enfants abandonnent leurs études à la fin du niveau primaire ou du premier cycle de l'enseignement secondaire, il faut prévoir des cours de sciences qui ne soient pas seulement une base

de départ mais aussi un enseignement terminal, en ce sens qu'ils constitueront peut-être l'unique préparation scientifique méthodique de ces élèves à la vie d'adulte. L'élaboration d'un programme scientifique approprié pour ce niveau scolaire présente donc une très grande importance.

C'est pourquoi l'Unesco a lancé un programme particulièrement destiné aux écoles élémentaires et au premier cycle des écoles secondaires, en mettant l'accent sur la formation des maîtres à ces niveaux du système éducatif, sans pour cela négliger totalement les niveaux plus élevés. Ce programme devait également faire appel à la collaboration de l'Unicef et être exécuté en étroite coopération avec le Comité pour l'enseignement des sciences du Conseil international des unions scientifiques (CIUS), son but général étant de «stimuler et renforcer les attitudes et compétences scientifiques des enfants et [de] favoriser le développement, dans l'enseignement primaire et le premier cycle du secondaire, d'un enseignement des sciences répondant à la fois aux nécessités locales et aux conceptions modernes, tout en étant le plus possible intégré au programme scolaire d'ensemble» [5]. Dans cette perspective, il s'agit surtout d'agir au niveau de l'école primaire, pour que l'étude des sciences commence le plus tôt possible de manière à atteindre le plus grand nombre d'enfants pendant le cycle scolaire.

Tant que le deuxième cycle de l'enseignement était (comme il le demeure dans certains pays) destiné à une élite intellectuelle et socio-économique, la spécialisation précoce dans les différentes disciplines pouvait soit se justifier comme étant requise pour l'admission aux universités (but primordial de ces classes du deuxième cycle), ou bien être rejetée comme n'affectant qu'une très faible partie de la population. L'extension de l'enseignement secondaire à l'ensemble de la population, phénomène en cours dans de nombreuses parties du monde, crée un éventail de conditions très différentes. Un exemple de ce qui peut se produire apparaît aux États-Unis, nation qui ouvre les portes de l'enseignement secondaire à la grande majorité des jeunes et qui a été également l'un des centres de développement des programmes scientifiques pour le deuxième cycle du secondaire. Malgré tous les efforts et l'argent investis dans la modernisation et la réforme des cours dans les différentes disciplines, la fréquentation de ces cours, en physique et chimie particulièrement, s'est tout juste maintenue, et la grande majorité des élèves (70 à 80%) quittent l'école secondaire sans le moindre bagage en sciences physiques. Au regard de ce qu'on est en droit d'attendre de ces garçons et de ces filles en tant que membres de la société, cet état de choses est extrêmement regrettable. Comme il en a été débattu plus haut, ainsi que dans le chapitre 3 de *Tendances nouvelles de l'enseignement intégré des sciences* (vol. II) lorsqu'on analyse la plupart des programmes de sciences dits «intégrés» ou

«combinés», précédemment élaborés pour le deuxième cycle de l'enseignement secondaire, il apparaît clairement que leur raison d'être était d'atteindre les objectifs de la biologie, de la chimie et de la physique ou de ces trois disciplines, grâce à cette nouvelle orientation. La séparation des sciences à ce niveau repose sur une puissante tradition, renforcée, comme on l'a vu plus haut, par les systèmes d'examens externes et par les exigences auxquelles est subordonné l'octroi de diplômes scolaires dans la plupart des pays. Tant que prévaudront cette tradition et/ou ces exigences, la mise en œuvre de véritables programmes scientifiques intégrés pour les classes terminales du secondaire sera sérieusement entravée.

D'une manière générale, il convient que soit repensée du point de vue des individus la finalité des programmes scientifiques dans le deuxième cycle du secondaire. Le nombre des élèves qui s'achemineront vers des carrières de cadres ou de techniciens dans des branches scientifiques, technologiques ou apparentées, est limité et, même en pareil cas, rien ne prouve que leur préparation à ces carrières doive commencer au niveau de l'enseignement secondaire. En fait, dans les instituts universitaires, les universités et les écoles techniques, beaucoup de programmes de formation de personnel technique ou scientifique partent de l'hypothèse que l'étudiant n'a acquis aucune base dans ces domaines. En outre, la plupart des recherches et des travaux actuellement en cours en sciences et en technologie sont de nature interdisciplinaire et requièrent une plus large compréhension des relations mutuelles entre divers domaines scientifiques. L'étude de certaines sciences comme la physique pourrait être une option offerte à l'élève qui envisage de poursuivre des études scientifiques, tout comme il ou elle opte pour d'autres cours en fonction de préférences particulières. De cette façon, les cours axés sur une discipline particulière présenteront plus d'intérêt pour les étudiants attirés par la physique ou la chimie, par exemple, puisque les enseignants et les responsables des programmes dans ces domaines ne seront plus embarrassés par l'obligation d'enseigner cette discipline tout en essayant de répondre aux besoins d'enseignement scientifique général de tous les élèves.

Une composante de la formation générale des élèves, pour qu'ils deviennent des éléments dynamiques de la société dans laquelle ils vivront, devra être l'étude de la science sous forme intégrée qui les aidera à comprendre les possibilités et les limites de la science, et aussi l'influence qu'elle peut avoir, qu'elle ne manquera pas d'avoir sur eux-mêmes, leur communauté, leur pays et le monde. Un programme scientifique de cette nature devra nécessairement accorder une attention particulière aux questions d'environnement, aux possibilités et aux problèmes qu'implique le progrès technologique. Une approche de ce

genre conduira non seulement à mieux intégrer l'enseignement des sciences elles-mêmes, mais aussi à une intégration croissante entre ce qu'on appelle traditionnellement les sciences et d'autres disciplines du programme scolaire.

Propositions pour la transmission des connaissances

Rôle et importance de l'enseignant

Le but de l'école est d'aider l'individu à s'instruire. Facile à énoncer, mais difficile à mener à bien, ce principe implique que le rôle du maître est de mettre le savoir à la portée des élèves de sa classe. Le rôle traditionnel du maître dispensateur de faits est un élément, mais un élément très partiel du modèle. L'essentiel devrait consister à concevoir, élaborer et mettre en œuvre une grande variété d'expériences à l'intention des élèves, qui toutes les encouragent individuellement à s'instruire. Étant par son métier responsable de l'instruction de l'enfant au jour le jour, l'enseignant se doit d'utiliser un large éventail de circonstances et de ressources afin de répondre à la diversité des appétits d'enfants aux personnalités différentes. Cela doit se faire d'une manière praticable, et la plupart du temps dans le cadre d'un effectif nombreux appelé classe, où un seul maître est responsable de trente élèves ou plus. Comment pourvoir aux appétits de savoir de l'individu dans le contexte habituel d'une classe à fort effectif, tel est le défi majeur auquel sont confrontés les enseignants dans toutes les écoles du monde.

Ressources pour le professeur de sciences

Par bonheur, comme il a été exposé plus haut, nous bénéficions dans l'enseignement des sciences de l'apport des périodes d'élaboration et de réforme des programmes, qui s'ajoute aux multiples ressources offertes dans l'environnement immédiat de l'enfant et de l'école. Un large éventail de matériels élaborés dans diverses parties du monde est à la disposition de l'enseignant à tous les niveaux de l'enseignement des sciences. Qu'il s'agisse de programmes complets comprenant les livres du maître, les manuels, l'équipement et les matériels nécessaires, ou d'une simple suggestion fournie par un collègue entre deux escaliers ou d'une école à l'autre, tous ces matériaux doivent être considérés comme des ressources et non comme des réponses. Même sur les lieux où ces matériaux ont été primitivement élaborés, leur emploi requiert que le

maître analyse et conçoive soigneusement la manière de les adapter au projet pédagogique. Bien des programmes élaborés dans tel pays, même aménagés, ont eu beaucoup de mal à répondre aux besoins éducatifs des élèves d'un autre pays. Récemment, toutefois, dans les centres d'élaboration de programmes, l'intérêt s'est tourné, surtout au niveau de l'enseignement primaire et au début du secondaire, vers la production d'unités ou de modules traitant un sujet ou un centre d'intérêt particulier. Si ces unités ou modules sont sélectionnés avec soin, il devient plus facile de les transférer d'un pays à un autre puisqu'on peut n'utiliser que ceux qui répondent aux intentions et aux objectifs du programme local prévu.

Une autre source d'activités scientifiques pour les groupes d'élaboration de programmes et les enseignants est fournie par les recueils de travaux pratiques tels que le *Nouveau manuel de l'Unesco pour l'enseignement des sciences.* Dans des ouvrages de ce genre, le maître peut trouver des travaux pratiques relatifs à une grande variété de sujets, et dont certains peuvent être groupés pour former des modules traitant de questions particulières comme les cristaux ; d'autres peuvent venir compléter les expériences sur des sujets de première importance tels que l'énergie. Dans le premier cas, le manuel de travaux pratiques est utilisé comme une ressource permettant au maître de concevoir une partie non négligeable de son programme, tandis que dans le second cas, les travaux pratiques servent à enrichir ou à approfondir le programme déjà prévu.

Le recours à l'environnement

L'environnement de l'école est une autre ressource importante pour l'enseignement des sciences, surtout lorsqu'il s'adresse à de jeunes enfants. Cette ressource est trop souvent négligée, sous prétexte que la nature, le cours d'eau ou la mer étant à leur portée, tous les enfants les connaissent et qu'ils n'ont nul besoin qu'on les leur présente davantage. En réalité, le milieu qui entoure l'école est essentiellement un laboratoire en plein air dans lequel des idées majeures telles que l'adaptation, les chaînes alimentaires, l'érosion, le transfert d'énergie, la croissance végétale et d'autres encore se prêtent à l'expérience immédiate. Des projets tels que le Outdoor Biology Instructional Strategies Program [Programme de stratégies pour l'enseignement de la biologie en milieu naturel] aux États-Unis [6] ou l'Agriculture en tant que biologie [7] en Israël, accordent une grande attention à l'élaboration de séquences et de modules pédagogiques liés à l'environnement de l'école.

Il convient d'intégrer toutes ces ressources se prêtant à l'enseignement des sciences au projet global d'enseignement des sciences à l'intention d'un groupe donné d'élèves. Un tel projet, et il peut s'agir d'un programme de discipline pour l'enseignement secondaire aussi bien que de la simple hypothèse que l'enseignement des sciences peut être intéressant à certaines étapes de l'enseignement primaire, aura une incidence très importante sur ce qui se passe dans la classe de tel ou tel maître. Si le programme d'études est très spécialisé et très limité, la souplesse du maître en sera grandement réduite et l'une ou l'autre des ressources indiquées plus haut ne pourra être utilisée que si les exercices, les modules ou les possibilités offertes par l'environnement sont conformes au programme. Moins le programme scolaire est limité et plus large est le champ qui s'offre au maître pour innover et enrichir son enseignement. Naturellement, la plupart des maîtres éprouvent le besoin et le désir d'être guidés et aidés. Un programme détaillé ou conseillé, définissant pour le cours ou le programme des centres d'intérêt majeurs à un niveau donné et proposant au maître des recommandations et lui indiquant des ressources, aide celui-ci à démarrer. Mais il reste possible d'encourager chez le maître la souplesse et la créativité. De plus en plus, et surtout dans le cas des programmes scientifiques intégrés des classes primaires et des petites classes du secondaire, les modules ou les unités élaborés par des équipes aux quatre coins du monde aide les maîtres individuellement, de façon très probante, les groupes d'enseignement scientifique et d'autres, à préparer des programmes judicieux à l'intention d'enfants dont les aptitudes et les goûts sont variables.

L'élaboration de la séquence éducative

Sous forme d'exercices, de modules, ou même de programmes complets, le professeur de sciences dispose de ressources à tous les niveaux. La plupart des enseignants ne commenceront pas par établir un programme pour leurs élèves; ils auront à suivre un programme qui leur aura été recommandé ou imposé, en tout ou en partie. Bien que l'on puisse dire que la nature du programme, partiel ou complet, qui aura été imposé au maître, détermine dans une certaine mesure le genre des connaissances qui seront fournies aux élèves, l'initiative reste en grande partie entre les mains du maître, même dans le cas du programme le plus rigide. En pareil cas, le but primordial est souvent de faire apprendre par tous les enfants un ensemble spécifique de faits pour les préparer aux exigences d'un examen, mais la manière de présenter ces faits et la manière d'utiliser le texte éventuel relèvent toujours du maître.

Toutefois, dans la plupart des cas, il existe infiniment plus de souplesse, et tout enseignant intervient dans la conception et le plan des travaux éducatifs conduits dans sa classe. La préparation de cette action réciproque entre les élèves, le maître et les ressources et matériaux se rapportant au programme est au cœur de ce qu'on appelle l'enseignement. Il n'existe pas de formules simples ou de définitions exclusives pour décrire convenablement la nature de l'enseignement. Disons au contraire que l'enseignement est un ensemble complexe de relations réciproques entre le maître et les élèves, dont l'éventail s'étend de situations où l'enseignant est l'autorité dans la classe jusqu'à des situations où il fait tout ce qui est possible pour susciter l'autonomie de chaque élève.

Par exemple, lorsqu'il présente certains faits nécessaires ou fixe des règles de sécurité en laboratoire (voir chapitre 4), c'est le maître qui détient les informations, et il n'est pas raisonnable d'espérer que les élèves découvrent ces informations par eux-mêmes. La nature et l'importance du tableau périodique des éléments en chimie et la manière d'allumer un bec Bunsen sont deux exemples de ce type d'information. Il importe donc que le maître implante certaines idées et certaines démarches avant de définir un vaste champ d'activités expérimentales à l'intention des élèves.

En revanche, si l'on veut que les élèves cultivent leur aptitude à identifier et à contrôler les variables, par exemple, le maître pourrait immédiatement leur proposer des expériences dans un certain nombre de situations qu'ils jugent intéressantes et où le contrôle des variables est important. Ainsi les élèves commencent à comprendre ce qui se passe, par expérience personnelle. Mais même dans ce cas, le maître devra tôt ou tard définir le concept même de variable. Par la suite, chaque élève devrait être assuré d'une autonomie étendue, de façon à pouvoir explorer les idées par lui-même, grouper des données et les analyser, comprendre le principe et ses applications à la lumière de son expérience personnelle et de celle de ses pairs.

Dans l'idéal, une combinaison de ces deux démarches et de bien d'autres encourage les élèves non seulement à apprendre ce qui est au programme, mais aussi à voir la portée et les applications de ce qu'ils ont appris dans leur vie quotidienne. A mesure que l'étude en classe de sciences deviendra partie intégrante de l'épanouissement de l'élève, l'enseignement aura un effet bien supérieur à un simple accroissement des connaissances. L'élève associera ces connaissances à sa vie quotidienne, ce qui affectera ses sentiments, ses opinions et sa conception de la vie elle-même. De même les multiples occasions offertes en sciences de travailler avec des équipements et du matériel, individuellement ou en groupe, ont des effets connexes sur l'élève. Par exemple, le fait de travailler avec quelqu'un d'autre et d'expliquer ce qui se passe ou ce qui

a été découvert développe chez l'élève à la fois la personnalité et l'aptitude à s'exprimer. L'importance que l'on donne en sciences à l'observation attentive peut aider le jeune enfant à affiner ses facultés perceptives. L'utilisation de matériels et l'exécution d'expériences développent chez l'élève la coordination et l'aptitude à manipuler des objets. Dans le cas du jeune élève en particulier, la science peut être, si ses liens avec la vie sont mis en évidence, l'ordonnateur fondamental de tout l'apprentissage. Évidemment, une telle situation ne peut se réaliser que sous la conduite d'un maître sensible, intelligent et compétent.

Le cycle éducatif

Parfois, le rôle du maître se borne à distribuer des matériels nouveaux et intéressants ou à emmener les élèves dans quelque endroit intéressant aux abords de l'école, de sorte qu'ils puissent explorer par eux-mêmes ce qu'on leur a indiqué. Dans ce genre de situations exploratoires, l'orientation vers la connaissance ou le savoir n'est pas fréquente, et le rôle du maître consiste à observer, à encourager les idées neuves et à soutenir la curiosité des enfants. Au cours d'une séance exploratoire de ce genre, chacun peut faire quelque chose de différent avec des matériaux identiques ou similaires, et le rôle du maître est d'encourager ces différences. Ces séances exploratoires sont une façon d'élargir l'univers de l'élève ou son expérience générale. Fréquemment, une ou plusieurs séances exploratoires de cet ordre seront suivies d'une séance plus ordonnée au cours de laquelle le maître présentera une idée ou un point de vue nouveau. De cette façon, le maître rassemble les expériences récentes et les rapporte à l'idée nouvelle.

Par exemple, après que les élèves auront observé un certain nombre d'organismes dans le milieu ambiant et auront eu l'occasion de constater des similitudes et des différences dans le comportement de différents organismes, le maître pourrait leur expliquer la notion d'« adaptation » à propos des caractéristiques permettant à ces organismes de survivre et de se reproduire. La présentation de l'adaptation de cette façon, ou même de façon plus formelle comme « variation héritée, combinaison de caractéristiques héritées, qui améliore les chances de survie et de reproduction d'un organisme dans un milieu donné » [8] ne ferait rien de plus que fournir à l'élève un régulateur intellectuel, ou un point de vue sur les organismes et leur comportement. Afin de bien comprendre cette nouvelle idée, il faudrait que chacun ait de multiples occasions d'en découvrir par lui-même les manifestations apparentes. En observant divers organismes et leur comportement, l'individu rassemble des preuves qui confortent l'idée. C'est seulement par ces activités de découverte, qui doivent constituer une part importante de

toute acquisition scientifique, que l'élève parvient à comprendre les significations, les ramifications, et l'importance de la nouvelle idée.

Au cours de ces séances de découverte, le rôle du maître est totalement différent. Outre qu'il ménagera les occasions propices à l'expérience comme dans les situations exploratoires, le maître voudra aussi poser des questions, organiser des discussions, et mettre en œuvre d'autres techniques pour renforcer et réintroduire l'idée neuve à mesure que s'accroît l'expérience de l'élève. Naturellement, toute séance de découverte peut conduire à de nouvelles explorations de différentes idées, ce qui donne à l'ensemble des rapports réciproques enseignant-enseignés un caractère cyclique, le maître adaptant son rôle en fonction des besoins des élèves à un moment donné. C'est cette nécessité de s'adapter aux besoins et aux goûts observés chez l'élève qui fait de l'enseignement une tâche humaine et individuelle.

Les stratégies pédagogiques spécifiques et leur application

Le genre de pédagogie requis en sciences et décrit ci-dessus exige que le maître ait recours à une grande diversité de stratégies ou d'approches. Quelques-unes d'entre elles vont être mises en relief pour illustrer les différentes possibilités particulièrement appropriées à l'enseignement des sciences.

Les événements contradictoires. La grande différence entre l'enseignement scientifique axé sur le concret et la plupart des autres disciplines, c'est que les choses ont effectivement lieu, dans la classe ou dans le milieu où se déroule l'enseignement. Les changements de couleur des indicateurs, le roulement, le glissement, la collision d'objets transférant de l'énergie, le comportement perceptible d'organismes, en classe ou sur le terrain, sont autant d'événements qu'on peut utiliser et qu'on utilise pour encourager l'enquête et l'étude du programme scientifique. Toutefois, de temps à autre, un phénomène tout à fait inattendu se produit dans le travail d'un ou de plusieurs élèves. Un objet roule vers le haut, un poisson qu'on croyait mâle procrée dans l'aquarium, ou encore, au terme de l'expérience, le précipité est rouge au lieu d'être jaune. On peut considérer ces événements imprévisibles ou inattendus de tous ordres soit comme des problèmes, soit comme des occasions à saisir.

Si l'on ne voit dans l'enseignement que la transmission de faits, alors ces événements sont des problèmes qui brouillent les cartes et qu'il convient d'ignorer ou de passer sous silence. Par contre, si l'on considère l'enseignement des sciences, au moins partiellement, comme un moyen de fournir à chacun l'occasion d'explorer son environne-

ment, alors toute circonstance imprévue est l'occasion d'encourager un ou plusieurs élèves curieux à examiner la situation. Le reste du groupe peut s'orienter vers de nouvelles activités ou attendre les résultats de l'examen de l'événement anormal. Ce qui importe, c'est que l'on profite de ces occasions et qu'on ne les soustraie pas à l'examen. Beaucoup de professeurs de sciences chevronnés ont recours à des situations contradictoires (aux yeux des élèves) qu'ils ont délibérément conçues et intégrées à leur enseignement afin d'accroître la motivation et la curiosité des élèves.

Les études de cas. Les études de cas constituent une partie importante de l'enseignement des sciences à tous les niveaux, surtout dans les sciences de la vie. De la simple observation d'un organisme dans son habitat par le jeune enfant à l'étude du potentiel énergétique d'un petit arpent de prairie ou à l'étude de l'impact de l'environnement par l'enfant plus mûr, les études de cas fournissent d'excellentes occasions à chacun d'approfondir un thème et de suivre des événements pendant un certain laps de temps. La nécessité de garder trace de ce qui se passe encourage l'élève à développer ses aptitudes à enregistrer, noter et analyser des données. En sciences physiques, les études de cas peuvent être menées sur des sujets tels que l'érosion provoquée à différentes périodes de l'année du fait de nouvelles constructions aux alentours de l'école. On peut aussi se livrer à une étude comparative de l'énergie solaire fournie à différentes périodes de l'année en utilisant des ustensiles simples tels qu'un thermomètre et une poêle noire remplie d'eau et recouverte d'une plaque de verre ou de plastique. Le changement de température de l'eau par unité de temps peut être interprété comme un indicateur de transfert d'énergie solaire. L'étude de cas est une méthode précieuse lorsqu'on élabore et utilise un programme intégré de sciences et elle fournit aussi des occasions d'intégrer les sciences à d'autres matières. Par exemple, l'expérience simple que l'on vient de décrire à propos de l'énergie solaire peut être utilisée comme base d'une discussion d'intérêt social dont l'objet serait l'alimentation en chaleur ou en eau chaude. Au niveau de l'école primaire, le projet USMES (Unified Science and Mathematics for the Elementary School [Mathématiques et sciences unifiées pour l'école élémentaire]) aux États-Unis fait une large place aux études de cas. Au niveau secondaire, le SCISP (Schools Council Integrated Science Project [Projet du Conseil des écoles sur l'enseignement intégré des sciences]) leur fait aussi une large place. L'examen de quelques exemples empruntés à ces matériels peut être d'un très grand secours lorsqu'on procède à la préparation d'études de cas pour une classe.

L'interrogation. L'interrogation est une stratégie importante utilisée par le maître pour susciter les initiatives ou les réactions des élèves. Elle

peut comporter dans des proportions diverses soit des questions complètement divergentes ou ouvertes, admettant une multiplicité de réponses, comme par exemple: «Quelles autres expériences aimeriez-vous faire?», ou «Qu'avez-vous découvert d'autre?», soit des questions totalement convergentes, n'admettant qu'une seule réponse, comme par exemple: «De quelle couleur était le liquide lorsque vous avez mélangé A et B?» ou «Combien de cacahuètes avez-vous mises dans le bocal?»

Les questions divergentes ont pour objet d'encourager les élèves à poursuivre l'activité, à leur faire observer des données d'une manière différente ou plus approfondie, à moins que ces questions ne soient les catalyseurs qui déclencheront ou animeront une discussion. Au cours de l'exploration préliminaire et des séances de découverte, c'est le genre de question que le maître doit poser individuellement et à de petits groupes alors qu'il travaille avec les élèves dans une ambiance individualisée. Il est rare que les réponses à ce genre de questions soient précises ou complètes. Par nature, les élèves réagissent de manière incomplète, aussi les questions conduiront-elles généralement l'élève à poursuivre son raisonnement et son activité. Pendant l'analyse des données, les questions divergentes sont utilisées dans un but quelque peu différent mais proche. En choisissant soigneusement les questions divergentes, on peut encourager les enfants à mettre en doute certaines conclusions, ou à observer les données de manière plus attentive ou légèrement différente.

Les questions divergentes sont très importantes et souvent très difficiles à formuler. Par ce genre de questions, on désire se référer avec précision aux preuves disponibles et encourager chacun à les examiner sous tous les angles. La présentation de différentes explications possibles ou l'élaboration de plusieurs méthodes d'analyse des données sont des techniques que l'on utilise pour souligner les contrastes.

Dans d'autres cas, les questions posées par l'enseignant sont un moyen de confirmer des idées déjà présentées. Les questions que l'on pose alors sont généralement du type convergent. La question convergente est également utilisée en vue d'obtenir d'élèves pris individuellement, ou de groupes de travail, des informations précises. Par exemple, pour déterminer le nombre de nervures trouvées sur chaque coquille d'une collection de pétoncles, on s'adresse directement à un élève. La manière de traiter les réponses à ce genre de questions est très importante, et il en sera débattu à fond dans la section suivante de ce chapitre. Les questions convergentes sont également utilisées pendant la discussion qui suit l'activité des élèves, pour faire apparaître le degré d'accord ou de désaccord entre différents élèves ou différents groupes conduisant des expériences présumées identiques.

Parfois, les maîtres cherchent à utiliser les questions convergentes pour présenter des informations précises aux enfants ou pour enregistrer une réponse précise qui leur permettra de procéder d'une certaine manière. Cela est dangereux puisque, au pis, cela conduit le maître à tenir des propos tels que: «Voilà une très bonne réponse, Julie, mais ce n'est pas à cela que je pensais.» Une remarque de ce genre transforme la classe, point de rencontre et d'échange intelligent d'idées, en une mare aux canards dans laquelle le maître lance la ligne tandis que les enfants cherchent à deviner quelle réponse il essaie cette fois-là d'attraper. Dans ce genre de situations, il est préférable de présenter purement et simplement l'idée nouvelle, ou d'énoncer explicitement quel centre d'intérêt particulier on se propose d'étudier, puis d'entreprendre cette étude. Il va de soi que les questions convergentes doivent être énoncées aussi clairement et explicitement que possible, et que les connaissances des enfants doivent leur permettre d'y répondre.

La plupart des questions posées en classe se situeront quelque part entre les deux extrêmes de la divergence totale ou de la convergence totale. Ces deux orientations de l'interrogation sont importantes dans un programme d'enseignement scientifique. L'enseignant doit être parfaitement conscient de la raison pour laquelle la question est posée, et il doit donc choisir et formuler celle-ci en conséquence. Il peut analyser (en utilisant un magnétophone ou avec l'aide d'un observateur) la nature des questions qu'il pose à différents moments au cours de son enseignement scientifique. Il convient alors de se rappeler que plus le pédagogue a recours aux questions convergentes, plus il attend de l'élève des réponses verbales précises et plus il a tendance à voir en lui un individu passif, se bornant à réagir aux initiatives du maître. Par contre, plus le pédagogue accorde d'importance aux questions divergentes, plus il incite les enfants à observer, à faire de nouvelles expériences et à se montrer actifs. De cette façon, les enfants acquièrent un comportement qui leur permettra de réagir et d'émettre un avis sur les diverses possibilités soulevées par la question.

Il faut que les questions soient programmées avec soin. Il faut s'arranger pour poser tout d'abord des questions du type divergent, qui favoriseront chez l'élève l'initiative et la participation. La divergence doit être cependant contrôlée de telle manière que les activités qu'elle suscitera soient liées à l'aspect des sciences qu'on se propose d'étudier. Puis, une fois que les enfants auront acquis des connaissances expérimentales et que le moment sera venu de résumer et d'organiser les diverses observations faites et les idées qui en découleront, alors des questions convergentes précises relatives à ces connaissances constitueront une stratégie pédagogique très efficace.

Le maniement des observations et des preuves. Dans un programme scientifique axé sur l'expérience, les élèves passent une grande partie de leur temps à travailler avec de l'outillage et des matériaux dans le but de faire des observations et de rassembler des preuves. Pendant une séance d'exploration, les observations de l'enfant sont destinées à fournir un large éventail de témoignages, suscitant l'intérêt pour le problème en cours d'examen et ouvrant la voie à la présentation de nouvelles idées. Inversement, après avoir présenté une idée, on fait appel à l'observation individuelle. L'enfant fait d'autres observations et rassemble d'autres preuves. Il résulte des questions du maître et des systèmes spécifiques que l'enfant est invité à observer, que les efforts sont orientés vers l'établissement du genre de preuves qui confirme les nouvelles idées introduites et aide à les comprendre. Au cours de la séance de type exploratoire, le rôle du maître est d'encourager à la diversité en se souciant peut de guider les travaux des enfants vers une conclusion précise. Par la suite, en choisissant soigneusement les questions et en spécifiant avec plus de précision à quelles expériences il y a lieu de procéder, le maître guide les élèves vers le but recherché, qui est de comprendre les idées précédemment présentées. L'élève doit être individuellement encouragé à observer attentivement, à rassembler autant de preuves utiles que possible, et à rendre compte de ses observations de manière aussi complète et indépendante que possible. Pour ce faire, il est bon que l'élève sache que le maître considère que toute observation a son importance. Il convient d'accueillir un compte rendu d'observations comme le témoignage de la compréhension de ce qui s'est passé et donc de ne pas le juger comme étant juste ou faux, ou bon ou mauvais.

Le rôle des comptes rendus. La rédaction des comptes rendus est un aspect important de l'activité scientifique. C'est en général sur la base de tels comptes rendus que les expérimentateurs comparent et analysent les résultats de leurs expériences. C'est la comparaison et l'analyse des résultats d'expériences qui leur permettent de découvrir les constantes qui, à leur tour, donnent la possibilité de prédire des événements futurs du même ordre. L'importance que nous donnions précédemment à l'observation méticuleuse et à la réunion de preuves exige que l'on initie l'enfant à la rédaction de comptes rendus dès qu'il commence à étudier les sciences. Pour bien faire, il faudrait initier l'enfant à l'enregistrement des faits dès qu'il apparaît qu'un tel enregistrement est essentiel à la solution du problème. Par exemple, la question de savoir combien de graines il y a dans une cosse pourrait être soumise à un groupe d'enfants que l'on initie aux idées de variation. On pourrait donner aux enfants deux ou trois cosses et leur demander de compter le nombre de graines qui se trouvent à l'intérieur. Une fois que

les cosses sont ouvertes et que les graines se mélangent, il n'y a habituellement pas de moyen commode de dire combien de graines proviennent de chaque cosse.

Un compte rendu établi au moment où les graines de chaque cosse sont dénombrées non seulement résoudrait ce problème, mais servirait d'introduction à l'utilité d'une comptabilisation. Si l'on demande aux enfants de prendre des notes qu'ils n'utiliseront jamais, ou qui seront négligées au profit des résultats du maître ou de quelque autre «compétence», l'intérêt qu'ils accorderont aux notes et par conséquent leur aptitude à les établir resteront minimes. Par contre, les comptes rendus auxquels les élèves voient une raison d'être seront considérés comme une partie importante et intéressante de l'expérience globale. Des techniques telles que les histogrammes et autres graphes ou le simple pointage des réponses, peuvent être employées pour rassembler et analyser les travaux exécutés individuellement à l'intérieur du groupe. L'élaboration du compte rendu se fait alors sous la surveillance directe du maître. Il convient de concevoir des stratégies pour encourager le rapprochement des résultats individuels afin de découvrir les constantes, avec les possibilités de prévision qui en découlent, à partir des notes des enfants. Ces derniers ont besoin d'expérience pour utiliser leurs notes et pour comprendre par eux-mêmes l'importance effective de celles-ci. Lorsque des signes de désaccord ou de graves divergences apparaissent, le maître peut orienter l'attention des enfants en examinant comment ils ont individuellement trouvé les résultats consignés, afin de savoir si tous les enfants ont bien fait la même expérience et quelles ont été les conditions qui ont varié d'un travail à l'autre. Un tel examen fait apparaître une fois de plus l'importance et l'intérêt qui s'attache à les faire aussi complets que possible.

En général, le compte rendu individuel et l'utilisation collective de ces comptes rendus constituent la technique qui permet de garder trace des données d'expériences ou d'autres activités. Ce sont ces données qui servent à la recherche de constantes dans les phénomènes observés.

Les discussions entre élèves. L'une des obligations majeures de tous les maîtres, et en particulier de ceux qui enseignent à de jeunes enfants, est de susciter des occasions de discussions entre élèves. Cette obligation existe indépendamment de la discipline enseignée, mais elle est particulièrement importante lorsqu'il s'agit de sciences. Dès que les enfants engageront les discussions en tête à tête ou par petits groupes, les différences et les similitudes dans les démarches et les observations deviendront apparentes. D'autres occasions de débattre de ces questions avec leurs camarades les encourageront à réexaminer le compte rendu qu'ils ont établi, ou la position ou le point de vue qu'ils ont adopté.

En classe, il est utile que l'enfant ait l'occasion d'échanger des commentaires et de partager des activités avec les adultes, sous différentes formes. Aux yeux de l'enfant, toutefois, ces adultes, et le maître en premier lieu, sont des «autorités», si bien qu'il cherchera surtout à réagir de manière à les satisfaire. Il est rare que l'enfant lance des idées neuves ou mette en doute le point de vue que le maître ou d'autres grandes personnes auront adopté. C'est précisément parce que les débats entre camarades de classe donnent lieu à ces remises en question et à ces initiatives qu'il faut les encourager.

Les échanges entre élèves peuvent être encouragés dans toutes les phases du programme scientifique. Parmi les principales stratégies qui les susciteront, citons le choix judicieux de questions divergentes qui stimuleront la controverse, et le rôle du maître, en qualité de meneur de jeu, pour identifier les points controversés et conduire à leur solution par la discussion et la poursuite de l'expérimentation. L'encouragement aux discussions entre élèves n'est pas une stratégie indépendante ou un aspect contingent de l'enseignement des sciences, mais un élément normal de l'activité de la classe. Grâce à ces échanges seront multipliées les occasions d'interaction sociale, activité qui, comme il a été montré au chapitre 2 (p. 55) sous le titre «Importance des interactions sociales», est essentielle au développement intellectuel de l'enfant.

L'analyse et la recherche des constantes. En règle générale, il n'est pas recommandable de conclure l'étude d'une notion particulière ou d'une série de notions par des séances d'activité individuelle. Beaucoup de maîtres ayant adopté une approche moderne de l'enseignement scientifique ont tendance à suivre cette voie, et c'est fort regrettable. Les enfants ont besoin de comparer et d'analyser les observations faites par des expérimentateurs différents. Par ce moyen, ils commencent à observer les constantes naturelles qui sont à la base des modèles explicatifs que l'on propose en formulant des prévisions. Si l'activité porte sur des quantités numériques, il devient beaucoup plus facile de découvrir des constantes. Au moyen d'un histogramme ou de tout autre type de graphes, il est possible d'exposer les données obtenues par différents expérimentateurs individuels, et de rendre ainsi plus évidentes les constantes ou les tendances révélées par ces données. Bien entendu, il est possible dans une certaine mesure de faire de même dans le cas d'observations qualitatives. Nous n'avons pas, néanmoins, de bonnes techniques permettant de comparer et d'analyser des descriptions verbales.

Les stratégies pédagogiques utilisées varient au cours de cette phase de l'enseignement scientifique. Il peut être nécessaire de faire connaître au groupe, ou de lui rappeler, les modalités d'emploi d'un histogramme

ou de tout autre moyen de présenter un ensemble de données. Une fois connue la technique d'établissement d'un histogramme ou de tout autre moyen de combiner et de comparer les données, l'analyse de celles-ci est confiée aux enfants, le maître jouant le rôle de consultant appelé à régler certaines controverses et à en encourager d'autres. Il ne faut pas oublier que l'intention est d'obliger les élèves à observer plus attentivement les données afin qu'ils puissent constater par eux-mêmes les constantes naturelles. Des questions sont posées au sujet de certains résultats individuels qui diffèrent considérablement de ceux qu'apporte la majorité des élèves du groupe. Les élèves qui sont parvenus à ces résultats sont invités à reconsidérer leur expérience afin de voir s'ils l'ont faite dans les mêmes conditions et selon les mêmes procédures que les autres. Si cette remise en question ne fait pas apparaître les causes des différences, il convient alors qu'ils recommencent l'expérience pour voir si leurs données se reproduisent. Les élèves sont encouragés à procéder à d'autres expériences afin d'explorer les contradictions ou des résultats intéressants qui semblent s'écarter de ce qu'on attendait. C'est au cours de cette phase du programme scientifique que l'on peut montrer par l'exemple même la différence entre ce qui, dans une expérience, demeure constant et ce qui varie. Au cours de ces séances, on pourra insister sur la nécessité de maintenir constants la plupart des éléments de l'expérience tout en soumettant à des variations celui que l'on veut étudier.

Un excellent exemple de ce principe est fourni par le genre d'observations habituellement recueillies au cours d'une série de mouvements de pendule, comme dans l'expérience 2.236 du *Nouveau manuel de l'Unesco pour l'enseignement des sciences* [9]. Une fois collectés auprès des différents expérimentateurs les résultats relatifs aux changements affectant ou non la fréquence d'oscillation d'un pendule, il apparaît généralement que le poids de la lentille du pendule n'a aucun effet sur la fréquence de l'oscillation. Mais il est encore plus intéressant de remarquer que, parfois, une analyse plus approfondie des données révèle une incidence tout à fait inattendue sur la fréquence. Il y a, par exemple, une incidence due à la forme de la lentille et à la répartition du matériau dont elle est faite. Si deux feuilles d'un même métal, pesant le même poids, mais de formes différentes, l'une longue et mince, l'autre courte et épaisse, par exemple, sont utilisées comme lentilles, l'expérimentateur s'apercevra que les fréquences des deux pendules sont différentes (même si les cordes sont de même longueur). C'est que les feuilles de formes différentes utilisées comme lentilles donnent effectivement aux pendules des longueurs différentes, et que c'est la longueur de la corde plus la distance jusqu'au point de chaque feuille sur lequel on peut estimer qu'agit tout le poids de la lentille. On comprend pourquoi les lentilles décrites donnent aux pendules des longueurs

différentes. Habituellement, pour éviter cette variation, les lentilles de pendule utilisées pour ce genre d'expériences sont de petites sphères qui augmentent donc très peu la longueur du pendule.

Le maître: un chercheur et un apprenti

L'enseignement est une fonction par laquelle une action réciproque s'exerce entre des personnes. Que vous, lecteur, enseigniez dans une école urbaine ou dans celle de la plus petite agglomération rurale, vos capacités et la continuité de vos progrès professionnels dépendront de votre attitude en matière de pédagogie. Si vous considérez votre salle de classe et ses jeunes occupants comme un laboratoire bien à vous, dans lequel vous expérimentez de nouvelles méthodes d'interrogation, de vérification des résultats ou tout autre aspect de la fonction enseignante, alors vous deviendrez un authentique chercheur qui s'efforce de mieux comprendre la nature, l'épanouissement et le comportement de l'élève. Une telle attitude ne cesse de soulever des questions et des idées neuves pour vous-même et pour vos collègues et contribue considérablement aux innovations pédagogiques et à leur renouvellement. Naturellement, l'école et d'autres administrations peuvent faire beaucoup pour encourager ce genre d'attitude et de comportement de la part des maîtres. Par exemple, en décrivant un programme dont il a été responsable, le Dr Hisao Morikawa, de l'Institut national japonais de recherches éducatives, a évoqué le problème des «allergiques aux sciences». Selon lui, une large proportion d'instituteurs sont des gens qui, parce qu'ils s'intéressent davantage à d'autres matières, n'aiment pas les sciences ou même les ont en horreur, sans avoir jamais essayé de les enseigner. Citons-le: «Il est sans doute inutile que ces allergiques absorbent des connaissances scientifiques systématiques mais compliquées, ou étudient de difficiles techniques de laboratoire; cela pourrait bien renforcer encore leur aversion pour les sciences et leur enseignement [10].»

Après s'être interrogé sur l'importance qu'il y a pour les maîtres eux-mêmes à s'intéresser aux sciences et à vouloir les étudier, le Dr Morikawa rappelle le principe simple mais souvent oublié, selon lequel, si les maîtres veulent aider les enfants à aimer les sciences, il faut que les maîtres eux-mêmes les aiment. En guise de solution possible à ce problème, le Dr Morikawa propose que les maîtres et les écoles aient leurs domaines propres de recherche et d'enseignement scientifiques, qu'ils approfondiraient au cours des activités d'enseignement. Cela consisterait essentiellement, pour les maîtres d'une école donnée, soit parce que leur école est choisie comme projet pilote, soit parce qu'ils décident eux-mêmes de participer à un projet, à étudier un aspect de

l'enseignement des sciences qui les intéresse et que l'école juge important. Il peut s'agir d'approches ou de matériels pédagogiques nouveaux, d'équipements visuels ou de laboratoire, etc., ou encore de la mise au point de nouveaux matériels pour l'école. Dans chaque cas, des équipes d'enseignants travaillent en commun, étudient l'utilisation des matériels nouveaux ou adaptés, et présentent finalement les résultats de leurs découvertes à leurs collègues et au public. Bon nombre des approches prévues dans ce plan rappellent les projets de coopération qui se réalisent avec le plus de succès entre les autorités scolaires locales et les collèges universitaires aux États-Unis, en vertu desquels les maîtres reçoivent une formation qui leur permet de mettre en œuvre les programmes d'enseignement scientifique récemment élaborés. Toutefois, aux États-Unis, ces projets sont généralement à court terme et financés de l'extérieur (essentiellement par la National Science Foundation). Au Japon, les travaux ont un caractère permanent et sont financés par les autorités scolaires locales.

Le rôle du maître. Récapitulation

La distinction et l'analyse des diverses stratégies applicables à différents aspects de l'enseignement des sciences aident chacun à concevoir personnellement sa façon d'enseigner. La véritable fonction enseignante est un tout intégré dans lequel le ou les adultes responsables de la formation scientifique d'un groupe d'enfants utilisent une grande diversité de stratégies et de techniques. La classe est le domaine de l'enfant, et tout programme doit viser à augmenter pour l'enfant ses chances de s'instruire. Un plan pédagogique tend systématiquement à accroître les occasions pour l'élève de se familiariser personnellement avec la substance de la discipline étudiée. L'enseignant organise, analyse, arbitre en classe, dans le but de favoriser cette familiarité. Parfois, la mise en contact est tout à fait immédiate et s'effectue par la présentation de nouvelles idées. A d'autres moments, on écoute et on observe d'abord les élèves pour mieux comprendre leurs forces et leurs faiblesses par rapport aux objectifs conceptuels du programme. Ces informations sont utilisées dans la programmation de travaux futurs. Le programme d'enseignement scientifique peut être défini comme cette interaction entre l'«élève» et la «matière», orchestrée par l'enseignant. L'acceptation de cette définition implique que le maître ou la maîtresse adopte une attitude enquêteuse et expérimentale à l'égard des enfants. De la part de l'enseignant, ce comportement d'enquêteur est nécessaire pour déterminer dans quelle mesure l'élève s'intéresse à la matière étudiée et la comprend. Le comportement expérimental est nécessaire parce qu'il n'y a pas qu'une seule et unique façon de bien enseigner les

sciences. Les diverses stratégies, les diverses approches décrites ici peuvent être jugées utiles et instructives, mais la manière exacte de les utiliser, ou le choix de celle qui convient à un moment donné ou à un autre, doit être laissé à l'initiative de chaque enseignant.

Evaluation et enseignement

Il est tout aussi opportun, dans le programme d'évaluation, de contrôler isolément des faits ou des bribes de contenu isolées que d'accorder une place excessive au contrôle dans le programme éducatif. Cela ne veut pas dire que ces faits ou ce contenu soient dénués d'intérêt, mais qu'ils ne sont que les éléments d'un ensemble opérationnel intégré que l'on a appelé programme scientifique. Pour ce genre de programme, l'évaluation ou le bilan doivent nécessairement et naturellement se faire à long terme et porter sur le développement et la croissance continus des connaissances acquises par chaque élève et sur l'évolution de l'ouverture d'esprit de chacun aux sciences. Des mesures d'évaluation destinées à fournir des informations comparatives pour les différents groupes et les différentes individualités qui suivent le programme de telle école sont nécessaires de temps à autre. Ces mesures doivent toutefois être subordonnées à l'obligation primordiale de procurer au maître, travaillant avec chacun de ses élèves, des moyens de constater les effets de l'interaction entre l'apprenti et ce qu'il apprend, à savoir les sciences. Cette constatation fournit alors la base de la programmation ultérieure de l'apprentissage, élaboré par toutes les personnes concernées et responsables du programme scientifique de l'école. Ces procédures de rétroaction tiennent compte en premier lieu des changements visibles qui se manifestent chez les élèves. Cette rétroaction concernant les élèves fait partie de la planification continue de l'éducation, nécessaire à la réalisation des buts et des objectifs du programme scientifique.

L'évaluation comme procédure de mise au point

Le but essentiel de l'évaluation dans le processus pédagogique est de fournir aux maîtres et aux élèves des éléments d'information sur les changements qui résultent de la diversité des activités auxquelles l'élève participe. L'élève a besoin de ces renseignements pour mieux comprendre quel bénéfice il (ou elle) tire ou ne tire pas de ces activités et ils servent aussi d'indicateurs pour savoir ce qu'il y a lieu de mettre en lumière au cours d'une étude personnelle ou dans d'autres activités. Le

maître tire parti de cette information sur l'évolution de la compréhension de l'élève, ou sur son incapacité à comprendre, pour organiser ses futures séquences pédagogiques de manière plus efficace. Il est clair que ces renseignements sont requis de façon continue tout au long du programme, alors qu'en fait, les mesures d'évaluation pratiquées en fin de programme sont relativement inutiles de ce point de vue. Ce qu'il faut, c'est une diversité de techniques allant de l'observation non organisée au contrôle officiel, afin de savoir en permanence ce qui se passe en cours de programme. Dans l'idéal, un certain nombre de points de contrôle (à la fin de modules ou de sujets traités) devraient être définis et une procédure soigneusement élaborée pour recueillir l'information utile sur les élèves en chacun de ces points. Ces renseignements devraient ensuite être utilisés dans la programmation des procédures éducatives à mettre en œuvre en classe. En outre, le maître doit toujours être sensible aux symptômes fournis par les élèves qui sont «perdus» ou qui ne comprennent pas bien une idée importante, de façon à apporter immédiatement des adaptations au programme.

Méthodes d'évaluation

Un certain nombre de vrais problèmes deviennent apparents si l'on adopte cette conception de l'évaluation dans l'enseignement des sciences. En premier lieu, le maître doit pouvoir observer et écouter amicalement les élèves afin de recueillir des témoignages sur leur compréhension du programme scientifique. La fourniture d'équipements et de matériels à chaque élève et/ou à de petits groupes contribue largement à rendre cela possible. Les aspects plus formels du programme de rétroaction doivent être en rapport avec le niveau de développement intellectuel des enfants et, en conséquence, comporter des méthodes portant sur les interactions directes entre les enfants d'une part et les équipements et matériels d'autre part. Le choix de ces matériels, leur mise à la disposition des élèves et l'élaboration de procédures pratiques et utiles pour leur utilisation est un problème complexe. La situation au cours des premières années de scolarité est toutefois encore plus complexe puisque les enfants n'écrivent pas encore avec aisance et ne peuvent donc présenter de comptes rendus écrits comme source d'information sur leurs activités. Même dans un groupe, l'emploi de magnétophones ou d'autres moyens électroniques pour enregistrer les idées des enfants a ses limites dans la mesure où, surtout dans le cas de jeunes enfants, on ne se représente clairement leur niveau de compréhension que lorsqu'on pose une série de questions successives dont chacune repose sur la réponse précédente de l'élève.

Dans les grandes classes du primaire et dans le secondaire, où les élèves lisent et écrivent avec une relative aisance, les questions peuvent être posées par écrit et on peut attendre une réponse de l'élève.

Le recours aux bilans sur table est pourtant limité, même à ces niveaux, puisque l'aptitude de l'élève à communiquer par écrit est inférieure à ses aptitudes orales. En outre, la série de questions écrites prévue pour un groupe ne permet pas les questions posées à partir d'une réponse donnée ou d'une observation. Pour ces raisons, les techniques d'interrogation individuelle par un examinateur-observateur qualifié sont la manière la plus efficace d'obtenir des renseignements sur les élèves. Les ressources en personnel de ce type, son coût, et le temps perdu requis par cette procédure sont autant de problèmes qui font qu'on ne peut s'en tenir à cette approche dans la situation scolaire actuelle. L'approche personnalisée de l'enseignement des sciences, centrée sur le laboratoire, telle qu'elle est recommandée dans cet ouvrage, facilitera le recours aux techniques d'entretien individuel, dont l'usage formera une partie importante du programme d'évaluation. Pendant que la plupart des enfants travaillent avec de l'équipement et des matériaux en laboratoire, le maître a la possibilité de s'entretenir avec un ou deux élèves pour apprécier leur compréhension d'un aspect particulier du programme.

La coopération avec les institutions locales de formation des maîtres

Là où il est possible de développer des relations coopératives de travail entre un institut de formation des maîtres et les écoles voisines, on peut établir des appréciations individualisées en faisant un excellent usage des ressources disponibles tout en procurant à tous les intéressés les activités nécessaires à leur formation. Au lieu de passer leur temps à observer la classe du fond de la salle (selon un modèle bien trop courant), les étudiants qui se préparent à l'enseignement peuvent être initiés à la technique d'évaluation par entretiens personnalisés. Ils constituent alors la main-d'œuvre toute désignée pour exécuter le programme d'évaluation décrit plus haut. Pour les enseignants en stage de formation, cette expérience est excellente puisqu'ils participent ainsi activement au programme de l'école, travaillent avec les élèves, affinent leur manière de poser des questions et d'interpréter les réponses et améliorent généralement leur connaissance de la nature de l'élève et du contenu du programme scientifique.

Mesure et évaluation

Un second problème majeur est l'écart entre la méthode traditionnelle d'appréciation consistant à mesurer ce que sait l'élève *moyen* et la

nécessité réelle de mesurer les limites supérieures de compréhension d'individus et de groupes de telle manière que d'autres projets éducatifs puissent être adaptés à leurs besoins. Cette question peut être clarifiée si nous considérons ce que nous savons de deux élèves dont l'un reçoit un «C» et l'autre un «A» à la suite d'un contrôle. Pour l'élève à qui a été attribué un «C», nous avons quelque idée de ce qu'il ou elle savait ou ignorait au regard des questions posées. Nous pouvons même établir la différence entre ce que cet élève sait et ce que sait un élève à qui a été attribué la note «D» ou la note «B ». Ainsi dispose-t-on d'indications comparatives concernant ce que les élèves ne savent pas. Mais, pour ce qui est de l'élève noté «A», tout ce que nous avons appris, c'est qu'il ou elle connaissait les réponses aux questions posées. En ce qui concerne l'ensemble des élèves, rien n'est connu des autres connaissances ou facultés de raisonner que possède chacun et, encore plus grave, nous savons peu de chose de ce que l'élève ne comprend pas, n'a pas vu, ou ne saisit pas très clairement. Or ces renseignements sont nécessaires pour élaborer de nouveaux programmes éducatifs. Il est non seulement difficile d'inventer des instruments pour mesurer les limites supérieures de compréhension, mais même si l'on y parvient, les enfants ne feront pas «aussi bien» aux yeux du public qu'ils ne font avec des instruments d'appréciation plus traditionnels. En pareil cas, il faut procéder prudemment, et notamment expliquer à l'avance au public le but poursuivi avec le nouvel instrument d'évaluation. Sinon, la réalisation du but que vous poursuiviez en vue d'adapter le programme ultérieur sera interprétée comme une indication de l'échec du programme éducatif. Autrement dit, si vous réduisez votre programme d'évaluation et de rétroaction à l'appréciation de la limite mobile de compréhension de l'élève et de ses aptitudes en sciences, les résultats que vous obtiendrez seront loin d'être aussi réconfortants que si vous utilisez des instruments destinés à évaluer l'élève moyen.

Il est nécessaire de réorienter complètement l'attitude et l'intérêt du public à l'égard des appréciations et des bilans. Ceux-ci ne doivent pas être considérés uniquement comme un moyen externe de déterminer si des groupes d'élèves ont atteint à court terme un certain niveau fixé arbitrairement. Le niveau et les contrôles externes aux fins de mesurer les aptitudes continueront à faire partie de l'activité des écoles, surtout dans le secondaire, pendant bien des années. Toutefois, ces contrôles ne doivent pas être le facteur qui détermine la nature du programme scientifique, mais ils doivent plutôt être considérés comme une composante dans un ensemble de rapports réciproques entre l'enseignant et l'enseigné. En matière d'appréciations et de bilans, l'intérêt dominant doit être concentré sur chaque élève et sur une analyse continue et à long terme du développement de ses connaissances et de son intelligence des sciences. Voici la définition de l'évaluation

présentée en 1967 dans l'almanach de l'Association for Supervision and Curriculum Development [Association pour le contrôle de l'élaboration des programmes, États-Unis], sous le titre *Evaluation as feedback and guide* [L'évaluation en tant qu'information rétroactive et guide]: «Sur le fond, la commission tout entière demeure fermement unie. Ses membres partagent la conviction profonde que le but de l'évaluation est de fournir une information rétroactive, servant à guider l'ensemble du processus pédagogique à tous les niveaux [11].»

Une formation scientifique individualisée

Notre examen des contenus et des méthodes s'est concentré sur la classe et sur le rôle joué par le maître pour répondre aux besoins des élèves du groupe. Bien que nous ayons souligné l'originalité de chaque élève, nous avons surtout parlé des rapports groupe-enseignant parce que, dans le monde entier, c'est ainsi que l'on conçoit l'éducation. On rencontre une grande variété de bâtiments scolaires et de programmes, mais nous trouvons partout un maître responsable d'un groupe d'élèves (généralement trop nombreux). Dans ces conditions, toute discussion relative au contenu et à la méthode doit d'abord prendre en considération la dynamique des rapports entre le maître et la classe considérée comme un tout. Toutefois, les besoins et surtout les goûts de chacun ne sont habituellement pas pleinement satisfaits par le programme scolaire. Pour mieux répondre à ces besoins et à ces goûts, beaucoup de chercheurs et de concepteurs des programmes recommandent toutes sortes de programmes «personnalisés». Ces projets vont de l'instruction programmée, où tous les élèves étudient la même matière selon des rythmes différents, à ce qu'il est convenu d'appeler une individualisation totale dans des écoles dites «libres», où chaque enfant peut décider ce qu'il ou elle veut faire. L'individualisation est considérée tantôt comme une lubie tantôt comme une initiative sérieuse en matière d'instruction. Le problème ne fut jamais posé de façon plus claire que par ce maître débutant qui dit un jour à un élève venu le consulter: «Établir mon programme pour un seul élève ne me pose pas de problème, mais que dois-je faire des trente (ou quarante) autres élèves de ma classe?» Il est clair que, dans l'enseignement, les traditions et les habitudes courantes, ainsi que les contraintes économiques, font que l'instruction par groupe restera pendant encore bien des années la voie normale, et en un sens, il s'agit probablement d'une bonne chose puisque les échanges sociaux et la discussion des idées que facilite cette méthode sont d'une importance capitale pour le développement intellectuel de chacun. En dépit de cette priorité accordée au groupe, les

écoles feront des efforts accrus pour répondre aux besoins et aux goûts d'élèves pris individuellement, en leur offrant des occasions d'explorer en profondeur ce qui correspond à leurs goûts personnels. Les sciences sont particulièrement propices au travail individuel parce que, une fois que l'équipement et les matériaux ont été distribués aux élèves, chacun se préoccupe de son propre ouvrage, ce qui se traduit dans la classe par un certain degré d'individualisation, En outre, du fait que la plupart des élèves sont individuellement aux prises avec leurs matériaux, le maître a la possibilité de s'asseoir et de travailler ou de s'entretenir soit avec un petit groupe, soit avec un seul élève. Parmi les autres techniques que l'on peut utiliser pour promouvoir une véritable individualisation, la plus courante et la plus utile est celle du projet.

Les projets scientifiques

L'un des privilèges de l'étude des sciences est qu'elle offre la possibilité d'encourager des élèves à travailler individuellement à des projets et des activités annexes. D'autre part, le puissant intérêt manifesté par beaucoup d'élèves pour les projets fait de cette technique pédagogique un élément souhaitable de tout programme d'enseignement scientifique. Habituellement, les projets sont conçus en tenant compte de l'intérêt marqué par un ou plusieurs élèves pour un aspect de la question à l'étude, ou du désir d'un élève d'explorer un événement ou un thème même s'ils n'ont aucun rapport avec le travail qui se fait en classe. L'attitude du maître dans sa classe déterminera dans une large mesure l'intérêt que prendront les élèves aux projets individuels. Lorsque sont soulevées des questions auxquelles il ne peut être répondu dans l'immédiat, ou qui n'ont pas de rapport avec le sujet, si le maître encourage certains élèves à enquêter sur ces problèmes par leurs propres moyens, et même oriente leur recherche, cette méthode deviendra une forme habituelle d'activité scolaire. Une manière d'encourager les projets individuels est de mettre équipement et matériaux à la totale disposition des élèves. Surtout, s'il est précisé que l'étude individuelle de quelque aspect des sciences est une façon précieuse d'occuper son temps aussi bien à l'école qu'en dehors de l'école, beaucoup d'enfants apprendont à travailler ainsi. Ces activités aboutiront ou conduiront à des enquêtes à long terme conduites par les élèves. Au niveau de l'école élémentaire, et particulièrement dans les premières années, cette notion de projet à long terme doit être maintenue dans les limites qu'imposent la maturité et le champ d'intérêt des élèves. Il se peut que certains élèves du secondaire consacrent quelques mois ou la majeure partie d'une année à explorer un sujet qui les intéresse. Par contre, les élèves qui n'ont que sept ou huit

ans consacreront peut-être une semaine tout au plus à un projet individuel. Le but même de cette forme d'activité est d'encourager l'élève à se consacrer individuellement autant qu'il le peut ou le souhaite à un sujet qui l'intéresse. On peut être très souple lorsque l'on s'occupe des projets d'élèves travaillant individuellement.

Lorsque les élèves se consacrent à des projets personnels, la relation de maître à élève doit être sensiblement différente des conditions habituelles de travail en classe. Il s'agit d'encourager fortement les enfants à persévérer dans leurs travaux d'une façon tant soit peu prometteuse de réussite. L'enseignant doit apporter son appui à l'enfant, surtout en matière de méthodes mais sans avoir le sentiment qu'il a pour tâche d'orienter les goûts ou les activités de l'enfant dans une direction particulière ou vers un but qu'il aurait lui-même prédéterminé. Autrement dit, le rôle du maître n'est pas de pousser l'enfant à réorienter son projet de telle manière que ses résultats concourent à la réalisation des objectifs assignés par le programme de cette classe. Son rôle est plutôt de seconder l'élève jusqu'au moment où celui-ci est en mesure de définir clairement le problème, de projeter et mettre en œuvre des méthodes qui lui permettront d'éprouver la satisfaction personnelle d'avoir résolu ou essayé de résoudre un problème à la fois intéressant et important. D'une part, certaines questions peuvent faire apercevoir les insuffisances des démarches suivies ou des méthodes d'analyse et de récapitulation des résultats. A l'autre extrême, il convient de poser à l'enfant qui organise son projet de façon prometteuse, le genre de questions divergentes qui feront que non seulement il se sentira encouragé à réaliser ce projet, mais également à prendre l'initiative d'enquêtes complémentaires en rapport avec le projet original. En fait, le but des questions n'est pas d'obtenir des réponses mais de susciter des activités complémentaires et un surcroît de réflexion de la part d'élèves qui travaillent individuellement sur des projets correspondant à leurs goûts personnels.

Une autre fonction importante que le maître peut remplir consiste à rapprocher des groupes d'enfants travaillant à des projets similaires. Les élèves peuvent alors discuter entre eux de leurs progrès ou de leurs difficultés. Ces échanges d'idées et d'informations entre camarades permettent d'apprendre beaucoup de choses. En exposant son point de vue à un autre élève qui suit un chemin différent ou semblable pour aboutir à la même idée ou à une idée voisine, l'élève est obligé de repenser sa conception originale du projet. C'est précisément cette réflexion que le maître s'efforce de susciter au moyen de ces projets individuels.

La question se pose fréquemment de savoir comment faire reconnaître la qualité du travail réalisé par certains élèves dans l'exécution de leurs projets. Beaucoup d'écoles et de maîtres organisent à diverses

époques de l'année des expositions de projets spéciaux réalisées en sciences ou dans d'autres domaines, dans le cadre d'«opérations portes ouvertes» ou de «soirées des parents». Ces manifestations peuvent être une récompense applicable pour les enfants qui ont collaboré à un projet. Malheureusement, il arrive que ces expositions présentent au public non des travaux fondés sur les goûts des enfants, mais des travaux d'enfants reposant sur le besoin qu'éprouve le maître ou l'école de faire de la publicité. Naturellement, cela affaiblit de beaucoup les raisons et les caractéristiques qui font du projet individuel une activité éducative profitable. Si l'on demande aux enfants de travailler à de tels projets, leur production sera évidemment conforme aux règles fixées. Si, par exemple, des prix sont décernés ou si d'autres symboles sociaux artificiels s'attachent aux projets, de plus en plus de parents se mettront à «aider» les enfants à réaliser leurs travaux. Par contre, l'idée de tenir aux approches de la fin de l'année scolaire une exposition des travaux individuels des enfants est une initiative parfaitement valable. La présence des enfants à ces expositions est précieuse. De cette façon, ils sont disponibles pour s'entretenir de leurs travaux avec les visiteurs intéressés. Au cours de ces entretiens, il se peut que l'on pose à l'enfant des questions de telle nature qu'elles suscitent chez lui de nouveaux intérêts et l'engagent à entreprendre de nouveaux projets. De cette façon, l'exposition devient pour l'élève une activité éducative. Le projet doit servir son véritable but, qui est d'encourager les aptitudes individuelles et d'encourager l'enfant à compléter son instruction par des voies qui lui sont propres. C'est dans cette volonté et cette faculté d'étudier l'environnement et d'y découvrir les constantes qui permettent de prédire des comportements futurs, que se situe l'objet des sciences.

Les projets scientifiques sont une excellente manière d'encourager individuellement la curiosité des élèves. Combinés aux autres techniques et méthodes étudiées dans le présent chapitre et dans le reste de l'ouvrage, ils aideront le maître à atteindre l'objectif général de l'enseignement des sciences, qui est de favoriser le développement intellectuel maximal de chaque individu. Si le maître ou la maîtresse voit dans la classe un laboratoire où il, ou elle, a la possibilité d'observer les élèves et de travailler avec eux individuellement afin d'améliorer l'organisation de leurs futures activités éducatives, alors on se rapprochera davantage des objectifs généraux de l'enseignement scientifique.

Références

1. BAEZ, Albert V. ; ALLES, Jinapala. L'enseignement scientifique intégré et la formation générale. Dans : Richmond, P. E. (dir. publ.). *Tendances nouvelles de l'enseignement intégré des sciences*, vol. II, p. 149–155. Paris, Unesco, 1975.
2. WINTER, Stephen S. *Science education at the elementary and secondary level in Asia*. Paris, 1970, 42 p. (Étude de situations et d'évolutions préparée pour l'Unesco.)
3. SOUTH PACIFIC COMMISSION. *Changing the curriculum*. Fiji, University of the South Pacific, 1971, 25 p. (Rapport d'une conférence sous-régionale sur l'élaboration des programmes.)
4. SCIENCE EDUCATION PROGRAMME FOR AFRICA. *Handbook for teachers*, p. 2 et 3. Ghana, 1974.
5. HAGGIS, Sheila. Les sciences intégrées : un défi pour le maître de sciences. Dans : Richmond, P. E. (dir. publ.) *Tendances nouvelles de l'enseignement intégré des sciences : la formation des maîtres*, vol. III, p. 23–28. Paris, Unesco, 1976.
6. Outdoor Biology Instructional Strategies Programme [Programme de stratégies pour l'enseignement de la biologie en milieu naturel]. Programme financé par la National Foundation du Lawrence Hall of Science, University of California, Berkeley, Californie.
7. BLUM, Abraham. Vers une théorie de l'enseignement intégré des sciences. Dans : Richmond, P. E. (dir. publ.). *Tendances nouvelles de l'enseignement intégré des sciences*, vol. II, p. 27–47. Paris, Unesco, 1975.
8. BIOLOGICAL SCIENCES CURRICULUM STUDY. *Biological science : molecules to man*. Blue Version, 80.
9. *Nouveau manuel de l'Unesco pour l'enseignement des sciences*. Paris, Unesco, 1974. 299 p.
10. THIER, H. D. In-Service training of elementary school science teachers. *Journal of science education*.
11. ASSOCIATION FOR SUPERVISION AND CURRICULUM DEVELOPMENT. *Yearbook 1967 : Evaluation as feedback and guide*. Washington, D.C.

Deuxième partie

Chapitre 4
Moyens, équipements et matériels pour l'enseignement des sciences

Introduction

Nous avons vu, dans les chapitres précédents, que non seulement nous devons réfléchir sur les finalités de l'enseignement des sciences, mais que nous devons également élaborer une pédagogie adaptée au rythme de compréhension de nos élèves. C'est, en effet, le moyen de permettre à ces derniers de bénéficier au mieux de leur scolarité, que celle-ci se termine au niveau primaire ou au niveau secondaire. Pour tenir compte de l'individualité de ses élèves, il est important que le maître s'efforce de créer un environnement au sein duquel une majorité d'entre eux pourront acquérir un maximum de connaissances.

Le présent chapitre est consacré à l'environnement de l'apprentissage pratique des sciences : apprentissage plutôt qu'enseignement, car la compétence pratique est véritablement une combinaison de connaissance appliquée et de capacité manipulatrice. Cette aptitude psychomotrice doit être développée, car, sans elle, le progrès de la connaissance demeure limité.

Les réactions reçues au sujet des avant-projets de rédaction de ce chapitre ont fait apparaître la nécessité d'insister spécialement sur l'enseignement au niveau du secondaire. Il n'est naturellement pas possible, dans les limites d'un manuel tel que celui-ci, de traiter de manière approfondie la totalité des problèmes à tous les niveaux. Nous conseillons aux lecteurs de se mettre en contact avec leurs organisations nationales compétentes en matière d'enseignement des sciences. Cela les aidera à se tenir au courant des tendances et des progrès dans leur propre pays et dans le monde. Cependant, la plupart découvriront qu'un certain nombre des suggestions éprouvées que nous présentons ici sont en rapport avec leur propre situation. Nous espérons que les enseignants qui voudront bien les mettre en œuvre pourront en tirer profit.

L'environnement de l'apprentissage

Un bref aperçu

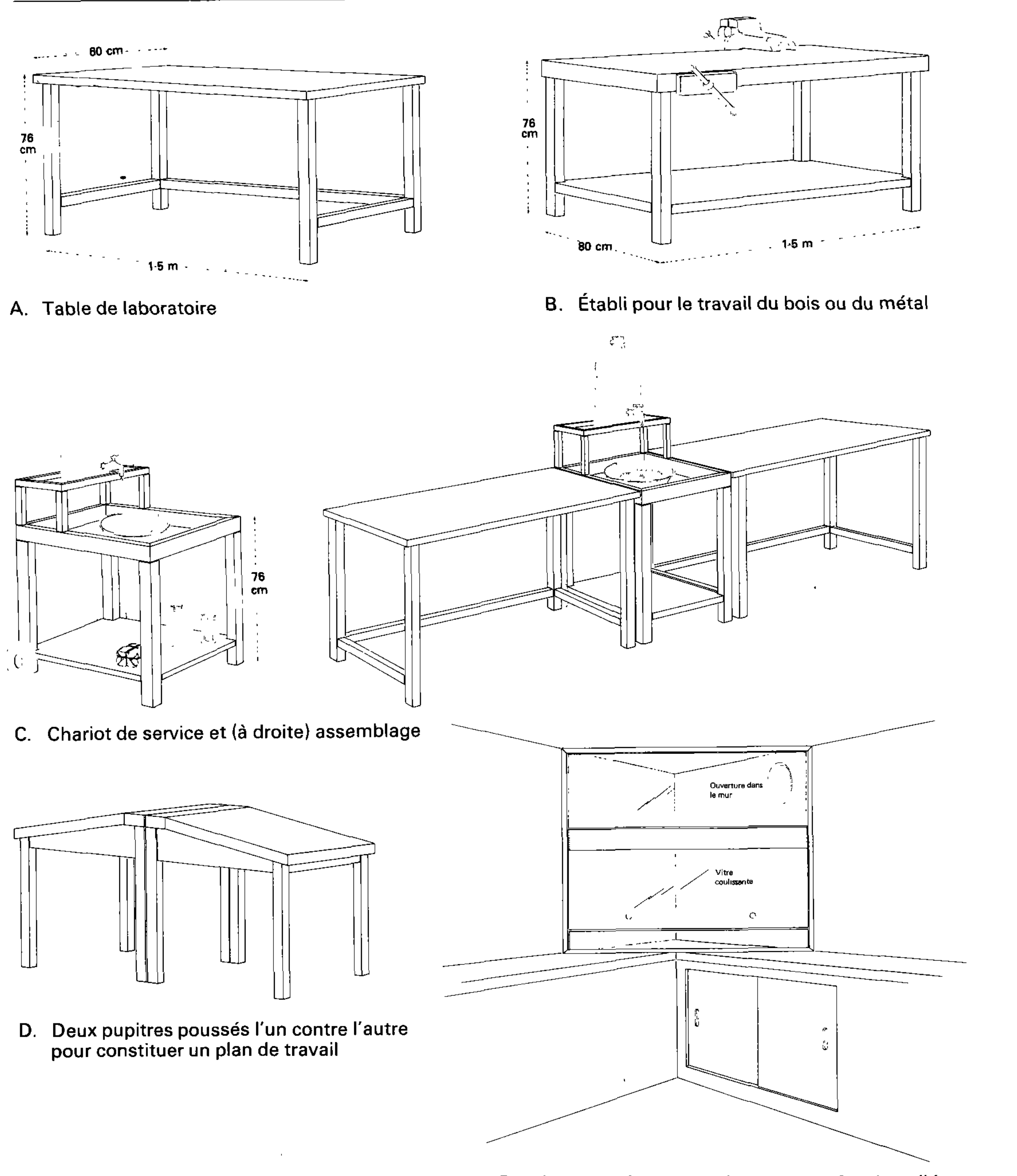
Les deux dernières décennies ont vu des modifications considérables de la pédagogie des sciences aux niveaux primaire et secondaire. De nouveaux programmes, insistant beaucoup plus sur une approche pratique de l'apprentissage, ont été élaborés dans de nombreux pays un peu partout dans le monde.

L'intégration des sciences dans l'enseignement ainsi que leurs relations avec la technologie requièrent une «ouverture» de l'environnement pédagogique traditionnel. La diversité des écoles primaires va de l'école à classe unique à celles où chaque année de scolarité est confiée à un maître particulier assisté d'enseignants spécialisés, mais partout nous constatons actuellement une tendance à créer un environnement destiné à permettre à l'enfant de participer activement au lieu d'apprendre passivement par cœur. Le travail déborde des limites de la classe sur le reste de l'environnement scolaire. Cela est particulièrement vrai avec l'intégration de l'étude des sciences à l'ensemble du programme dans le cadre du travail sur des projets. Le Science Education Programme for Africa (SEPA, ou Programme africain d'enseignement des sciences), initialement appelé African Primary Science Programme (APSP, ou Programme africain des sciences élémentaires), est un excellent exemple de programme d'éducation active où les élèves travaillent autant à l'extérieur de l'école qu'entre les murs de celle-ci.

La classe de sciences a elle-même changé. Alors que son atmosphère était jusque-là plutôt formelle, elle s'est transformée en un domaine consacré aux livres, aux reproductions et aux collections où les élèves présentent des spécimens et des travaux en rapport avec leurs études. Les tables, les pupitres et les sièges sont devenus plus mobiles afin d'être facilement adaptés aux différentes activités.

Ainsi évoluent les écoles primaires partout dans le monde. Les enseignants craignent souvent que les efforts d'innovation n'aient pour conséquence des problèmes de discipline, facteur qui ne doit pas être ignoré. Cependant, il convient sans doute de se rappeler qu'en matière de discipline, les difficultés ne viennent pas des élèves qui s'intéressent à leurs activités mais de ceux qui s'ennuient. Les enfants se disciplinent souvent d'eux-mêmes lorsqu'ils participent activement.

Au niveau secondaire, nous trouvons encore les termes de «laboratoire» et de «salle de classe» pour désigner des aires d'enseignement différentes. Celles-ci, cependant, peuvent être réunies en un même lieu afin de réaliser une synthèse naturelle. Les approches modernes de



E. Sas de ventilation sommaire, pouvant être installé sur des tables dans le coin d'un laboratoire

Figure 1. Mobilier pour l'enseignement des sciences.

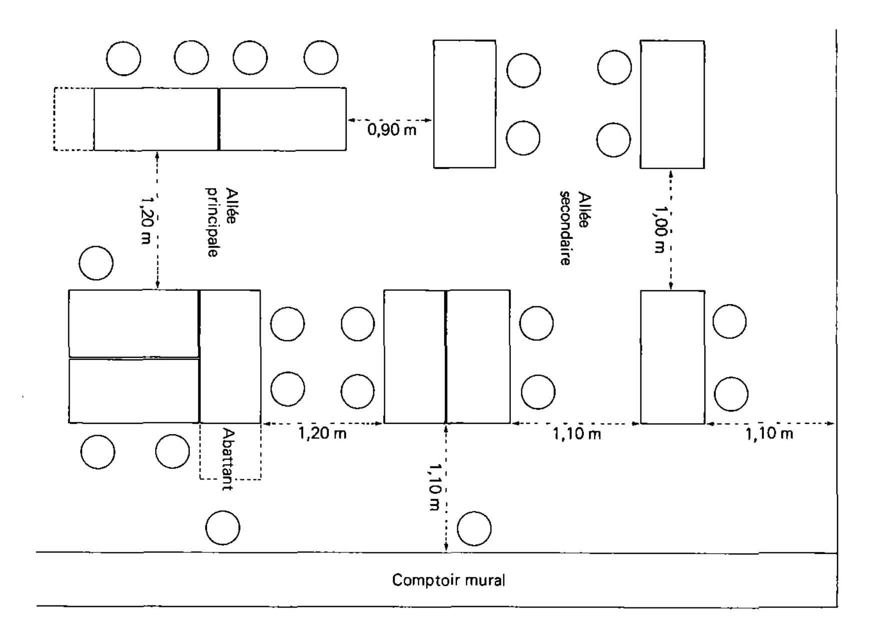


Figure 2. Modèle de disposition des plans de travail. Il n'est pas indispensable que les tables des élèves soient rectangulaires; les formes hexagonales ou trapézoïdales donnent de la souplesse et facilitent le travail en groupe. La hauteur des plans de travail devrait être d'environ 0,68 m à 0,79 m pour le travail assis, et de 0,76 m à 0,91 m pour le travail debout. Vérifier les données anthropométriques locales.

l'enseignement des sciences requièrent un «environnement pour l'apprentissage». Il s'agira parfois d'une approche formelle (en salle de classe), mais plus souvent d'une approche pratique (en laboratoire). L'approche pratique, ou découverte, ne se déroule pas seulement à l'intérieur du bâtiment d'école. L'ensemble scolaire, les fermes, les étangs et les cours d'eau locaux sont tous devenus d'intéressants domaines de recherche. La notion de «laboratoire» déborde maintenant les quatre murs de l'école.

Changements et suggestions de changement

Le maître qui désire placer ses élèves dans les meilleures conditions doit d'abord examiner son «laboratoire». Il est possible, au prix de petites modifications et en utilisant le mobilier existant, de tirer un bien meilleur parti de l'espace offert par un laboratoire de conception traditionnelle. Nous présentons ci-dessous quelques suggestions à cet égard.

Mobilier

Tables de travail. Une longueur de 2 mètres environ constitue probablement le maximum pour sauvegarder leur mobilité et une longueur de 1,50 mètre permet un peu plus de souplesse. Travaillez avec le menuisier de votre école pour réduire la taille de vos tables. Prévoyez dans le laboratoire un ou deux établis comme indiqué sur la figure 1.B. Une position confortable permet un meilleur travail. Les travaux pratiques de sciences ne se font pas nécessairement debout, et certains se font mieux assis, sous réserve des considérations de sécurité. Par exemple, il vaut mieux être debout pour manier des liquides corrosifs ou autres du même genre. Le taux d'avarie des tabourets et des chaises étant élevé, il est possible d'obtenir la souplesse nécessaire en réduisant à 76 cm la hauteur des tables mobiles, ce qui permet de les utiliser indifféremment en position assise ou en position debout. La figure 1.A représente un type de table adapté au travail en groupe. Le plan de la figure 2 — emprunté à *The design of science laboratories in secondary schools in Africa* (voir K. El-Jack, bibliographie annotée en fin de chapitre) — montre comment espacer les tables de travail. La figure 1.D montre comment réunir deux pupitres inclinés en vue de constituer une surface de travail pour deux élèves. Veillez, cependant, dans ce cas, à ce que les deux pupitres soient solidement fixés l'un à l'autre.

Chaises et tabourets. Il est possible d'utiliser l'un ou l'autre, sous réserve qu'ils soient adaptés à la hauteur du plan de travail. Les tabourets sont préférables, mais il en faut un par élève. L'utilisation de sièges endommagés est à proscrire, car elle favorise les accidents, en particulier dans le cas d'expériences délicates.

Placards et meubles à tiroirs. Ils peuvent être hauts ou mi-hauts. Outre leur fonction de rangement, ils peuvent servir au cloisonnement de la salle, permettant ainsi de délimiter un volume à usage d'atelier. Des placards à hauteur de plafond, combinés avec d'autres matériaux, peuvent même servir à l'installation d'une chambre noire rudimentaire.

Casiers et rayonnages. Autant que possible, les fixer au mur de manière à dégager le sol et les surfaces de travail. La fixation aux rayonnages d'un rebord vertical permet d'empêcher les récipients de verre de tomber et de se briser (fig. 16).

Table de démonstration. Sous sa forme traditionnelle, elle occupe une place importante qui pourrait être mieux utilisée. Le maître n'a véritablement besoin que d'une petite table munie de tiroirs. S'il veut faire une démonstration, il peut s'installer au centre de la salle, afin que tous les élèves puissent se grouper autour de lui et l'observer commodément (fig. 5). Se souvenir qu'il est important que la démonstration d'une technique puisse être suivie clairement: si les élèves la voient

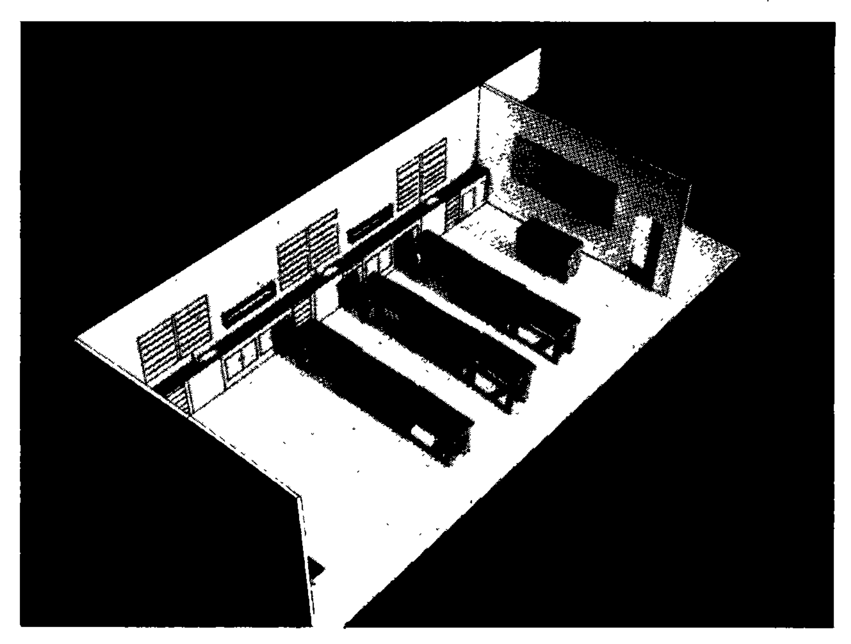


Figure 3
Modèle d'une disposition de classe de type traditionnel. Remarquer l'espace supplémentaire procuré par la suppression de l'estrade et la taille réduite du bureau du maître

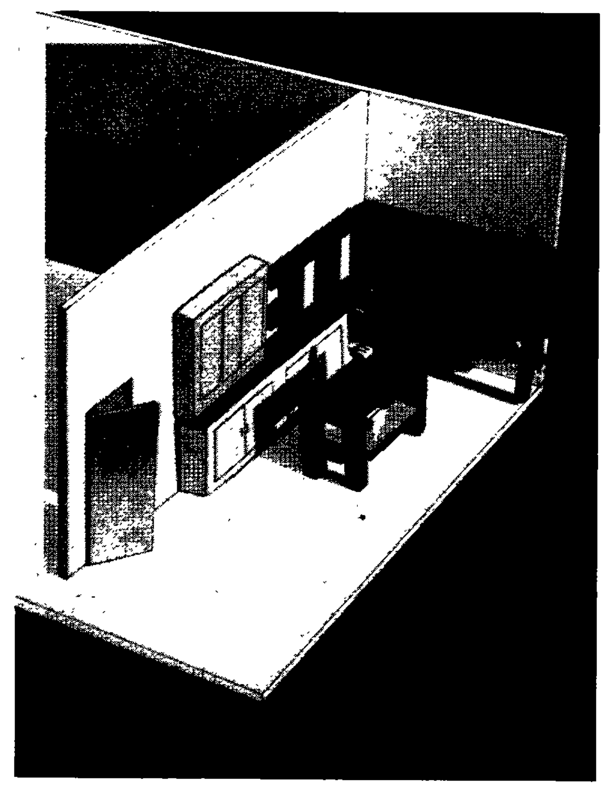


Figure 4
Cette photographie de la salle de préparation montre l'utilisation des rayonnages et de l'établi

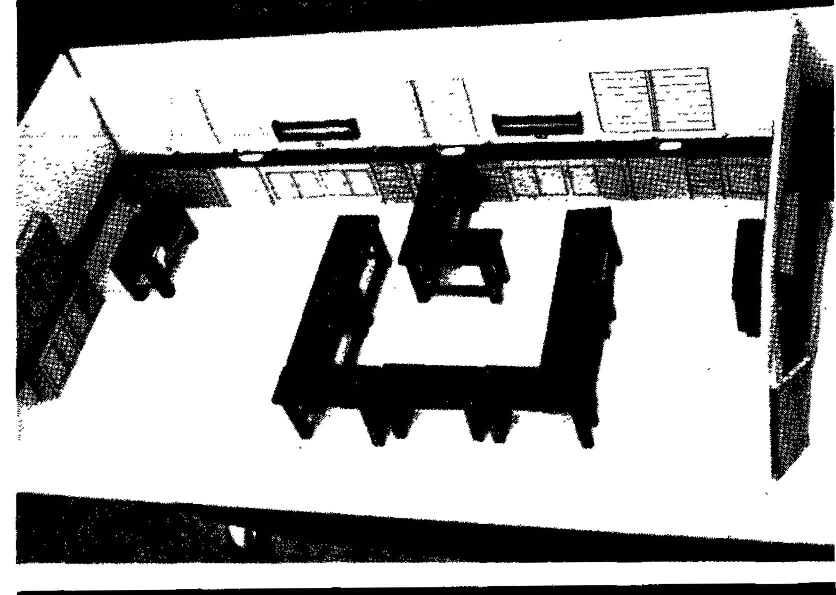


Figure 5
Disposition du mobilier dans le cas d'une démonstration faite par le maître



Figure 6
Type de disposition du mobilier pour un travail de recherche en groupe

seulement de «devant», ils sont en réalité placés à l'envers, ce qui peut être une source de confusion.

Placards et hottes à fumées. Si le volume des activités l'exige, l'aire d'apprentissage devrait comporter des hottes ou des placards à fumées. Il est possible de les construire sur les murs extérieurs du bâtiment, en veillant toutefois à ce que les émanations ne pénètrent pas dans les

autres salles de classe. La figure 1.E représente une installation simple, qui peut être complétée par un petit ventilateur. On peut employer un ventilateur du type couramment vendu dans le commerce à l'usage des conducteurs d'automobile, fonctionnant sur une batterie de 12 volts.

Les services

Eau. Sauf pour quelques expériences de chimie, des quantités importantes d'eau ne sont généralement pas nécessaires, bien qu'il soit indispensable d'en avoir en quantité suffisante pour les besoins de la sécurité. Il n'est pas indispensable d'avoir l'eau sur chaque plan de travail, et il suffit dans la plupart des cas d'avoir deux éviers munis d'eau courante. On peut également utiliser des éviers mobiles, qu'il est possible de fabriquer à l'école avec des matériaux de surplus.

Électricité. La plupart des travaux demandent un courant de 12 volts au maximum. Si bien que les piles sèches et les accumulateurs fer-nickel constituent les sources électriques les plus pratiques.

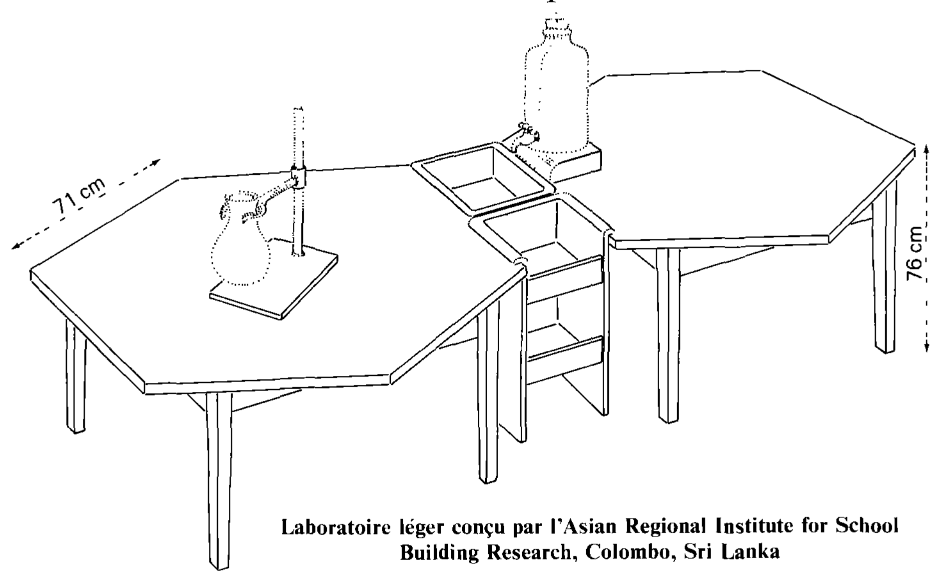
Chaleur. Pour la plupart des travaux de début, le brûleur à alcool (de fabrication locale) est plus que suffisant. Si une température plus élevée est nécessaire, le brûleur à kérosène (souvent vendu localement) conviendra. Le gaz en bouteilles et les brûleurs Bunsen constituent d'autres sources de chaleur. En commandant des brûleurs Bunsen, il convient de préciser le type de gaz que l'on doit utiliser. Tous ces appareils de chauffage peuvent être rangés dans le meuble mobile de service.

L'équipement de sécurité

Il est important d'avoir un équipement de sécurité approprié utilisable en cas d'accident. Une armoire de premier secours, des couvertures anti-feu, des extincteurs et des seaux de sable sont indispensables. Ils devraient s'accompagner d'un ensemble de règles de sécurité relatives au travail dans le laboratoire (voir ci-après p. 159 la partie consacrée à la sécurité).

Les figures 3 à 6 montrent comment modifier la disposition d'un laboratoire de type traditionnel pour obtenir plus de souplesse et répondre aux exigences stimulantes des nouveaux programmes. Ils représentent une maquette de laboratoire. Les maquettes sont de plus en plus utilisées dans la conception des laboratoires et en pédagogie. Il convient de se rappeler qu'aux niveaux supérieurs d'éducation scientifique, où l'on étudie distinctement les différentes sciences, chaque laboratoire présentera des exigences spécifiques. L'article reproduit page 133 illustre une autre conception, celle du laboratoire «improvisé» mis au point par l'Asian Regional Institute for School Building Research [Institut régional pour l'Asie de recherches en matière de construction scolaire].

Laboratoires improvisés



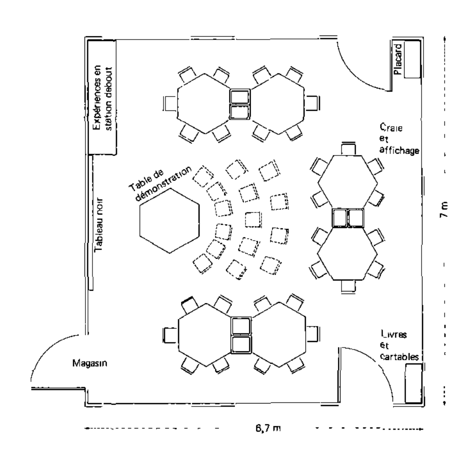
Laboratoire léger conçu par l'Asian Regional Institute for School Building Research, Colombo, Sri Lanka

L'un des plus grands problèmes de l'éducation dans les pays en développement est le coût élevé de l'équipement, même le plus élémentaire, pour l'enseignement des sciences, qui constitue pourtant la base essentielle du développement économique et social de ces pays, en particulier dans un monde de plus en plus axé sur la technologie.

L'équipement des laboratoires scientifiques a toujours été lourd et coûteux à installer, principalement parce qu'il est tributaire de canalisations fixes pour l'eau, le gaz, l'évacuation des déchets, ainsi que de circuits électriques.

Un projet très intéressant, patronné par l'Unesco, a été réalisé récemment à Sri Lanka par l'Asian Regional Institute for School Building Research, de Colombo. Une classe de trente élèves de la Homagama Secondary School, à quelques kilomètres en dehors de Colombo, a servi à l'expérimentation d'un nouveau laboratoire improvisé composé d'unités autonomes pour cinq élèves chacune.

Ces unités construites en matière plastique et bois coûtent environ un tiers de moins que les laboratoires conventionnels. Elles sont de montage rapide, et peuvent être facilement démontées pour installation dans d'autres salles de classe.



Type de disposition d'une classe utilisant le nouveau matériel de laboratoire

L'une des caractéristiques importantes du projet est la place donnée au travail en groupe,

par contraste avec la méthode d'enseignement traditionnelle où la démonstration faite par le maître est ensuite répétée individuellement par chaque élève. Ce nouvel équipement permet aux élèves de travailler ensemble à la conception d'expériences, tandis que le maître joue le rôle d'assistant et de guide.

Chaque unité consiste en une table de bois hexagonale comportant un évier portatif de plastique fixé à un côté, et qui peut servir de liaison entre deux tables. Le rayon de la table est adapté à la longueur des bras des élèves, et elle est assez basse pour permettre sans difficulté la lecture d'instruments tels que des éprouvettes graduées.

L'eau est fournie dans des bouteilles de plastique de 3 litres, et les déchets sont recueillis dans les éviers qui peuvent être vidés après chaque leçon. La quantité d'eau fournie s'est avérée suffisante, et cette limitation a l'avantage d'éviter le gaspillage, ce qui est particulièrement important en Asie ou en Afrique où 80% des écoles se trouvent en milieu rural.

La chaleur est fournie par des lampes à alcool et des brûleurs à kérosène, et l'électricité nécessaire aux expériences d'électrolyse et autres de ce genre est fournie par des batteries d'automobile. Il est ainsi possible d'éviter les dépenses d'adduction d'eau, de gaz et d'électricité.

Ces laboratoires ont été réalisés grâce aux idées de M. D.J. Vickery (Royaume-Uni), architecte d'études et expert principal de l'Unesco à l'Institut régional de Colombo, et de M. Jinapala Alles (Sri Lanka), qui a conçu une réforme du programme de sciences pour les écoles secondaires de son pays. Ils sont maintenant convaincus que ce nouveau mobilier et cet équipement simplifié répondent à leur objectif original: faciliter l'introduction de nouvelles méthodes d'enseignement des sciences et de la chimie, en assurant une plus grande participation des élèves et en réduisant les dépenses correspondantes.

A ce jour, trois autres pays d'Asie (Malaisie, Philippines et Thaïlande) sont en contact avec l'Institut régional en vue d'installer des laboratoires similaires dans leurs écoles secondaires.

(*Source:* Asian Regional Institute for School Building Research, Colombo.)

Rangement du matériel

Le rangement du matériel est étroitement lié aux conditions climatiques de la région concernée. Dans les pays tropicaux, celles-ci sont généralement de deux types.

1. Chaleur humide, entraînant rapidement des problèmes de corrosion des métaux ferreux, d'humidification des produits chimiques pulvérulents et, d'une manière générale, une détérioration de tous les autres matériaux. Cette détérioration est directement causée par les conditions climatiques, ou indirectement par des organismes comme les moisissures ou les termites.
2. Chaleur sèche, comme dans les régions arides où le principal danger est constitué par la poussière ou le sable. Ces régions enregistrent souvent d'importantes variations diurnes de la température qui provoquent des dilatations et des déformations.

Il semble que les variations de l'humidité sont plus nocives qu'un niveau constant de celle-ci. Par conséquent, certains appareils pourraient souffrir d'une variation du degré d'hygrométrie entre la salle de préparation et le laboratoire. Il peut être très utile de disposer d'un placard de rangement à circulation d'air forcée, réalisable au moyen d'un petit ventilateur. Il convient alors que les rayonnages soient à claire-voie pour permettre le passage de l'air. On peut également, ce qui



Figure 7
Rangement de produits chimiques dans un local de préparation/rangement. Les récipients sont placés par ordre alphabétique sur les rayons et sont tous clairement étiquetés. Chaque article doit être rangé sous son appellation chimique précise: par exemple, chlorure de sodium et *NON* «sel». Il n'existe aucune convention internationale en matière d'étiquetage des produits chimiques, mais la tendance est de plus en plus à utiliser des étiquettes indiquant non seulement le nom correct du produit mais ses dangers et les dispositions à prendre en cas d'accident (voir ci-après un spécimen, dans la section sur la sécurité, d'étiquette de ce genre).

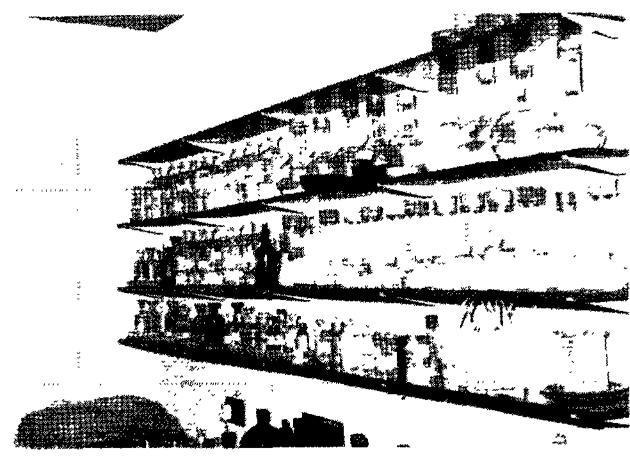


Figure 8
Ces rayonnages contiennent des préparations de réactifs qui seront utilisées dans la salle de classe. Près de l'endroit de stockage des produits chimiques devrait être fixé un tableau mural d'information sur leurs dangers et les procédures de sécurité. Vous pouvez vous procurer ce tableau auprès de votre fournisseur de matériel scientifique.

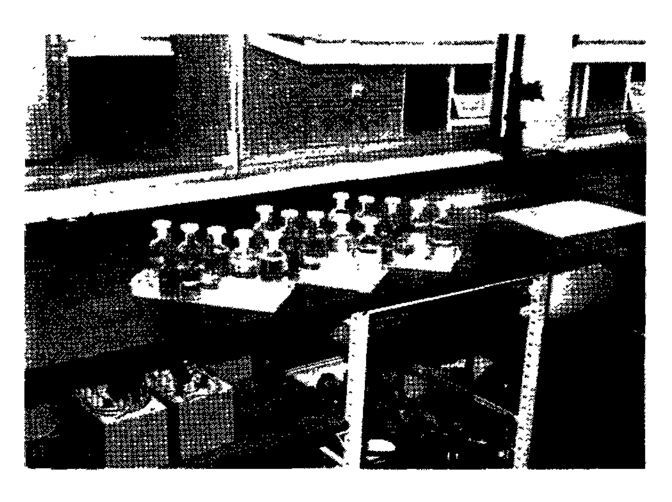


Figure 9
Les élèves reçoivent sur les petits plateaux représentés ici la quantité des solutions figurant sur la photographie précédente nécessaire pour réaliser leurs expériences. Cette méthode permet d'éviter d'avoir à disposer des bouteilles de réactifs sur des étagères au-dessus de chacune des tables du laboratoire. Noter le rangement sous la table de plateaux contenant tout le matériel nécessaire pour une recherche particulière.



Figure 10
Le placard fermant à clef représenté ici est utilisé pour le rangement des produits toxiques (et autres matières dangereuses). Cette pratique est à recommander et, dans certains pays, elle est prescrite par la loi.

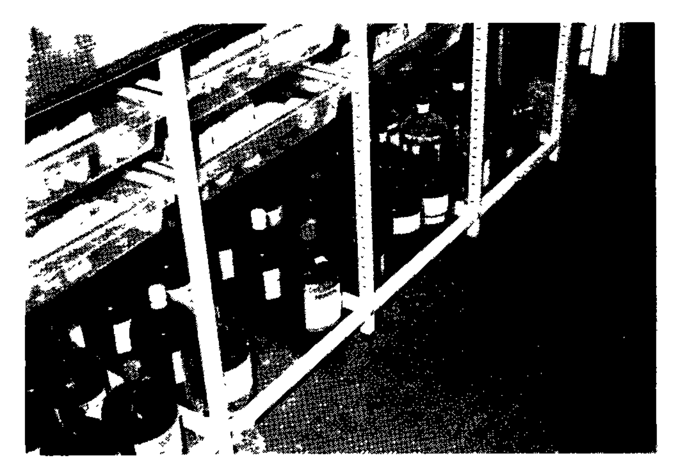


Figure 11
Les grands récipients de produits chimiques liquides devraient être rangés aussi bas que possible, en plaçant dans des compartiments différents les liquides susceptibles de réagir entre eux. Remarquer la barre placée au pied du rayonnage pour éviter que les bouteilles ne soient brisées accidentellement. Remarquer également l'utilisation de plateaux pour ranger des bouchons, etc., dans l'espace intermédiaire sous le plateau de la table et au-dessus des bouteilles.

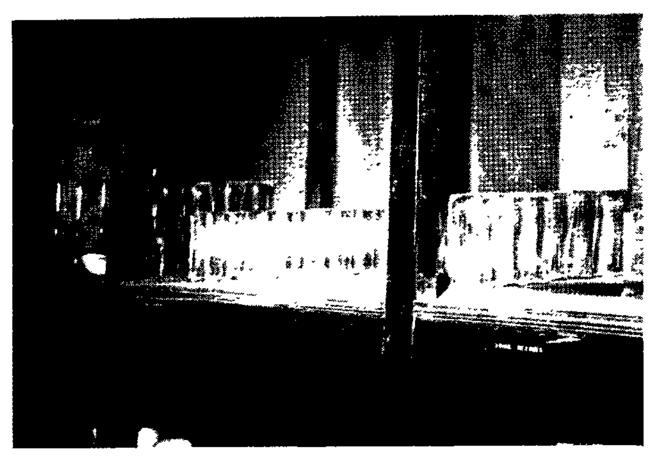


Figure 12
Système simple de rangement de verrerie dans des compartiments ou chaque dimension et chaque type sont clairement étiquetés. L'espacement vertical des rayonnages pourrait être réduit pour augmenter la surface de rangement.

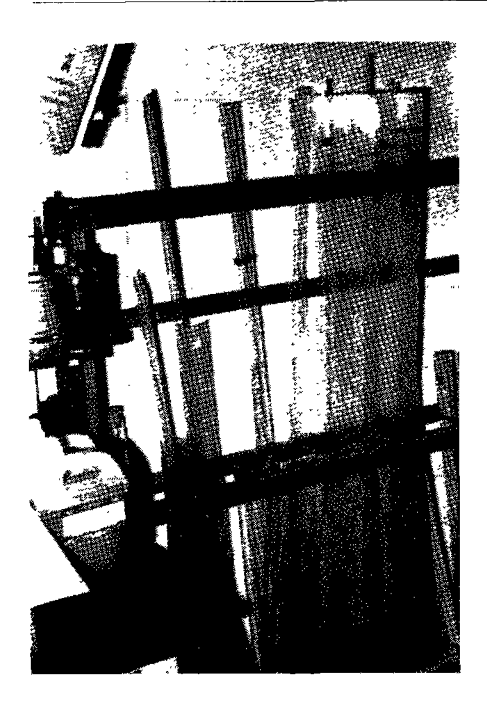


Figure 13
Pour des raisons de sécurité comme d'économie de place, il est préférable de ranger verticalement les tubes de verre dans un râtelier de forme appropriée comme celui-ci. Remarquer le rangement similaire des règles graduées.



Figure 14
Exemple de rangement de groupes d'appareils dans des compartiments de rangement dans la salle de préparation/rangement.

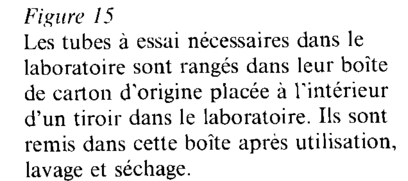
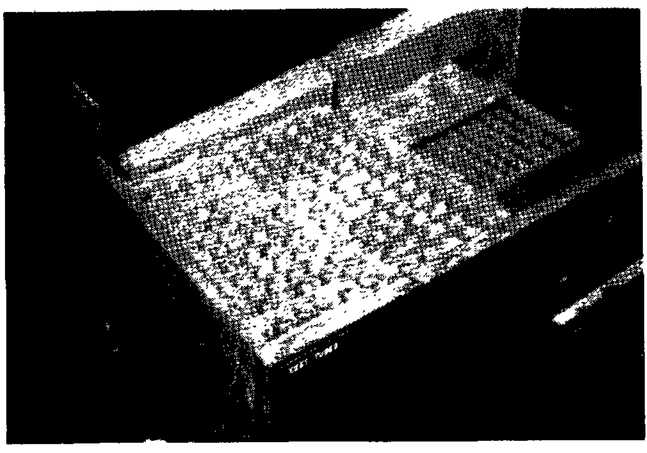


Figure 15
Les tubes à essai nécessaires dans le laboratoire sont rangés dans leur boîte de carton d'origine placée à l'intérieur d'un tiroir dans le laboratoire. Ils sont remis dans cette boîte après utilisation, lavage et séchage.



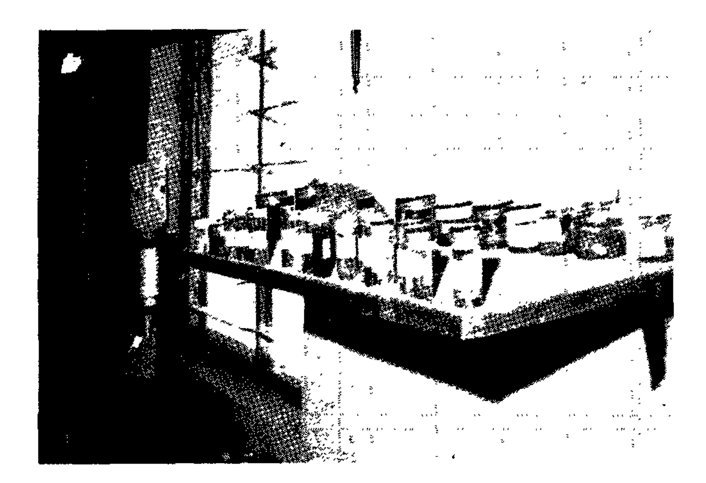


Figure 16
Cette photographie représente une exposition de spécimens biologiques dans des bocaux hermétiques de différentes tailles. Noter le rebord autour du rayonnage destiné à les empêcher de tomber.



Figure 17
Technicien de laboratoire utilisant un seau en plastique pour transporter une bouteille contenant un liquide dangereux.

est mieux que rien, placer une ampoule électrique au fond du placard. Il est aussi possible d'obtenir une certaine ventilation en perçant des trous d'environ 2 cm de diamètre dans les parois du placard, et en les recouvrant de gaze fine pour empêcher l'entrée de la poussière ou d'insectes comme les cafards. De même, la salle de préparation où est rangée la plus grande partie des appareils devrait être bien ventilée. Les fenêtres devraient être garnies de moustiquaires assez fines pour arrêter les insectes volants, les lézards et autres créatures de ce genre.

Le soin apporté au rangement du matériel est particulièrement essentiel quand les écoles disposent de crédits d'équipement limités. C'est également une préoccupation recommandable pour les autres écoles, car un laboratoire bien conçu et organisé favorise l'adoption d'une approche logique de l'investigation scientifique. Il est également important de comprendre que tout remplacement absorbe des crédits qui auraient pu être consacrés à l'achat d'appareils ou de matériels supplémentaires.

Nous donnons dans les pages suivantes quelques exemples de systèmes de rangement utilisés dans de nombreuses écoles. On constate que l'essentiel, à cet égard, est de «bien tenir la maison», c'est-à-dire de faire régner l'ordre, la propreté, et d'avoir chaque chose à sa place au début comme à la fin de chaque journée. Si, grâce à un bon rangement, le maître trouve rapidement les divers matériels qui lui sont nécessaires, le temps disponible pour l'enseignement se trouve augmenté d'autant. Il est important de faire attention à l'étiquetage des bouteilles, bocaux et autres récipients utilisés pour conserver les produits chimiques et les matériels biologiques. L'absence d'indications sur les récipients constitue un danger qui doit à tout prix être évité. Il est possible d'éviter les taches sur les étiquettes des bouteilles en les tenant toujours vers le haut en versant. Assurez-vous toujours qu'elles sont bien fixées et protégez-les avec un vernis ou un enduit.

Les matériels vivants dans l'enseignement des sciences

En même temps que se modifient les laboratoires, les méthodes utilisées pour améliorer les conditions d'apprentissage évoluent considérablement. Les modifications dans les types d'appareils s'accompagnent d'un développement important de l'utilisation de matière vivante, qu'il s'agisse de stimuler et de motiver les élèves ou de s'en servir comme matériel d'enseignement. Ce matériel vivant, normalement, ne se limitera pas à des spécimens conservés en bocal ou séchés. Les aquariums et les vivariums figurent depuis longtemps à l'inventaire normal d'un laboratoire de sciences, mais leur utilisation a souvent été négligée et dépend fréquemment du degré d'enthousiasme des enseignants. Les nouvelles écoles ont pourtant souvent une petite pièce d'eau dans leur enclave mais, dans la plupart des cas, l'utilisation de ce moyen d'enseignement a été omise ou négligée.

Les chapitres précédents ont montré que les modifications de l'enseignement et du contenu des programmes scientifiques ont pour but d'insister beaucoup plus sur les relations entre l'homme et son environnement. Le progrès a amené une exploitation de celui-ci qui impose maintenant d'apprendre à l'homme la nécessité de vivre en

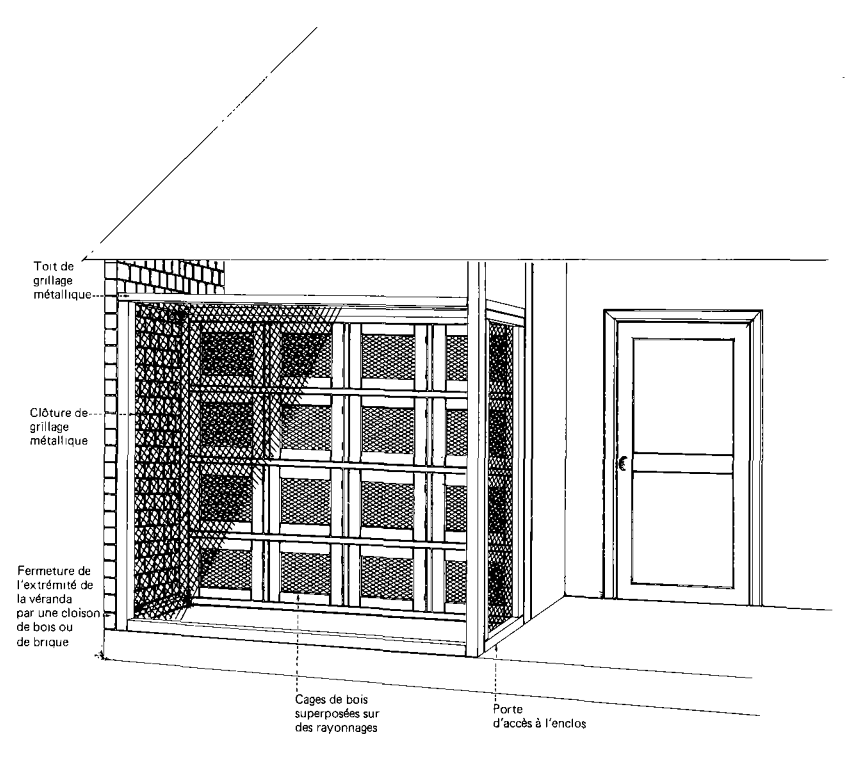


Figure 18
Construction d'un enclos pour animaux à l'extrémité d'une véranda.

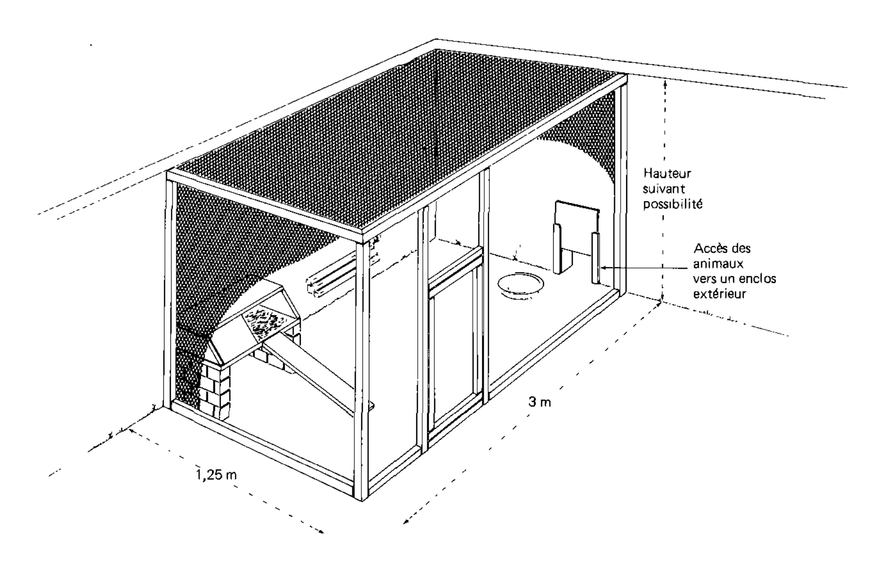


Figure 19
Construction d'un enclos pour animaux à l'intérieur d'un bâtiment.

harmonie avec son environnement biologique. Les nouveaux programmes mettent fortement l'accent sur l'étude des écosystèmes. Le Outdoor Biology Instructional Strategies Project (OBIS) réalisé par le Lawrence Hall of Science de l'Université de Californie est un exemple de projet sur l'environnement destiné à développer la compréhension des



Figure 20
Enclos pour animaux à l'intérieur d'un bâtiment scolaire ancien. Il abrite des cobayes, une tortue et un lapin, ces deux derniers étant utilisés dans la salle de classe lorsque la photographie fut prise. La figure précédente montre les détails de construction. Remarquer le cobaye buvant dans une bouteille fixée au grillage ainsi que la trappe d'accès vers l'extérieur.



Figure 21
Enclos similaire pourvu d'une barrière de séparation entre les cobayes mâles et femelles. Remarquer le chauffage fixé au mur, nécessaire en cas de froid. Un sol de ciment lisse facilite le nettoyage et l'hygiène.

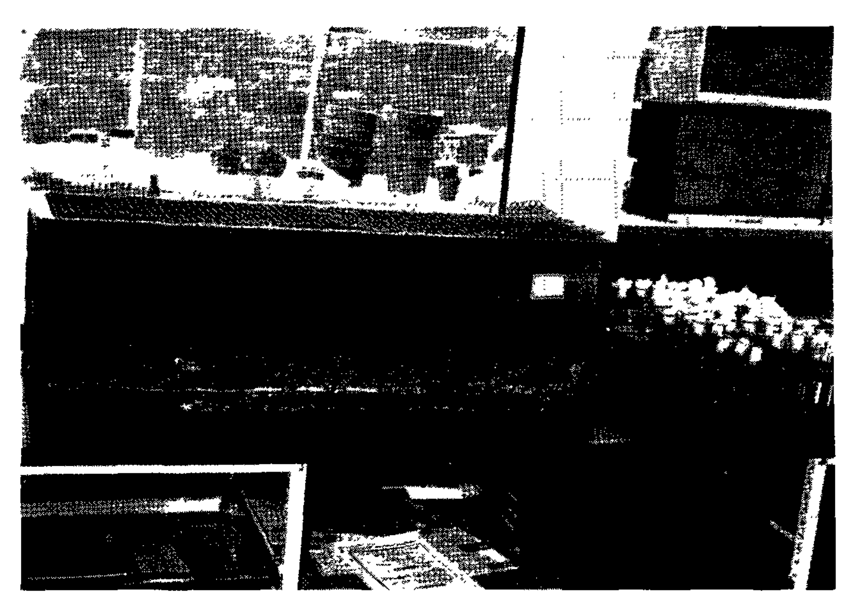


Figure 22
Exemple d'utilisation d'un aquarium comme cage pour garder des hamsters, des gerbilles et des souris. Remarquer également les cages à oiseaux utilisées en classe.



Figure 23
Cage d'élevage vendue dans le commerce. Une cage similaire pourrait facilement être réalisée à l'école.

relations écologiques. Mais ce projet est davantage conçu en fonction d'activités extra-scolaires (clubs scientifiques, scoutisme, etc.) que proprement scolaires.

Aussi souvent que possible, l'environnement sera étudié *in situ,* et les excursions joueront un rôle important dans les études intégrées des écosystèmes. Les contraintes d'emploi du temps imposées par les disciplines non scientifiques font qu'il n'est pas toujours possible de mener sur le terrain des recherches de longue haleine dans des matières comme la génétique. C'est pourquoi il est souvent nécessaire de faire certaines études à l'école en milieu contrôlé. L'organisation, sur le terrain de l'école, de plantations, d'enclos pour animaux permettant d'en faire l'élevage et l'utilisation de spécimens microbiologiques font maintenant partie des moyens désormais jugés nécessaires à l'étude des sciences. Les drosophiles ou les moisissures remplacent les récoltes sur le terrain pour les projets scolaires en matière de génétique.
Les figures 18 à 23 montrent certaines des méthodes et des moyens utilisés pour conserver des animaux. Des dispositions similaires peuvent être prévues pour d'autres espèces en utilisant des étangs, des cours d'eau, des aquariums et des terrariums.

Il convient de se rappeler que l'utilisation de matériel vivant ne se limite pas aux études de biologie. Les projets relatifs au contrôle thermique (physique), au pH de l'eau dans les aquariums (chimie) et aux taux d'accroissement (mathématiques), sont autant d'exemples montrant la valeur interdisciplinaire de ces matériels.

L'équipement scientifique scolaire

Les appareils de construction locale

Le rôle de l'enseignant. L'emploi par le maître d'objets, de jouets et de jeux usuels pour illustrer des principes scientifiques n'a rien de nouveau. La plupart des nouveaux programmes insistent beaucoup sur cette utilisation d'objets de la vie courante, familiers à l'enfant. Malheureusement, la formation pédagogique initiale des maîtres est rarement orientée dans ce sens, et la plupart d'entre eux, pour diverses raisons, hésitent à se risquer hors des sentiers battus. Celui qui voudra modifier sa pédagogie en fonction des exigences des nouveaux programmes ne devra pas se laisser arrêter par un manque de confiance. Les objets usuels et les matériels d'origine locale lui sont, en réalité, si familiers que leur valeur en tant que moyens d'enseignement lui échappe souvent.

Non seulement les matériels de construction locale constituent des ressources pour l'enseignant, mais il en est de même de toutes sortes

Figure 24
Fac-similé d'une page de livre[1].

VÉRIFICATION DE LA SOLIDITÉ DES MAISONS

Il est facile de voir quelle est la maison la plus haute. Par contre, déterminer celle qui est la plus solide est un problème qui demande réflexion. Si la plupart des groupes sont persuadés que leur maison est solide, demandez-leur de trouver des moyens de le vérifier.

Une de ces méthodes consiste à utiliser des boîtes de conserve ouvertes à leur extrémité supérieure. Une ficelle est fixée en deux points en haut de celles-ci, avec un crochet fait d'un morceau de métal (trombone par exemple). On remplit la boîte avec du sable et on l'accroche en un endroit de la maison. On peut également accrocher simultanément plusieurs boîtes de sable. Le maître peut participer à cette activité en même temps que ses élèves.



13

d'articles vendus sur le marché. Il suffit de repenser sa pédagogie pour y introduire le changement désiré. Pour commencer, il devra se demander: «De quoi ont besoin mes élèves pour s'instruire sur ce sujet?»; «Quel appareil disponible dans le commerce devrais-je normalement me procurer?»; «Quel substitut puis-je me procurer localement pour

1. Fac-similé d'une page de *Construction with grass*, avec la gracieuse autorisation de l'African Primary Science Programme, maintenant Science Education Programme for Africa.

que mon enseignement soit mieux adapté à l'expérience quotidienne de mes élèves?» Les réponses à ces questions s'obtiennent grâce à une analyse critique de l'environnement local.

Des questions comme: «Pourrais-je enseigner le son en utilisant des instruments locaux?»; «Pourrais-je enseigner la chromatographie élémentaire avec les plantes dont je dispose?»; «Pourrais-je fabriquer un aquarium avec des lames de persiennes?» appellent toutes une réponse positive. Une telle approche évitera à l'enseignant prudent d'avoir à se lancer dans l'inconnu, et il prendra graduellement confiance en lui-même.

Évidemment, il est impossible de se procurer localement tous les appareils, mais il existe souvent des moyens de tirer parti de ce qui existe déjà. Dans la plupart des gros villages et des villes, on peut souvent trouver des gens capables de souder (le mécanicien automobile), de réparer des pendules, des radios, de tresser des paniers, de sculpter le bois et de construire du mobilier. Toutes ces personnes peuvent aider l'enseignant à augmenter la variété des matériels dont il dispose pour réaliser des expériences utiles à la formation scientifique de ses élèves. Ce sont souvent d'ailleurs des parents d'élèves de l'école, et leur participation peut contribuer à l'établissement d'une bonne atmosphère communautaire. Cette approche n'est évidemment pas nouvelle. Il peut arriver que les parents participent très activement aux affaires de l'école. Ces relations entre l'école et la communauté en République-Unie de Tanzanie ont eu pour résultat, dans un cas précis, un progrès dans les techniques de culture qui a permis d'améliorer les récoltes.

On ne s'attend pas à ce que l'enseignant qui envisage de construire des appareils les produise en masse. Tel n'est pas son rôle et il n'a d'ailleurs pas reçu la formation nécessaire pour cela. Le point essentiel à considérer, lorsqu'il examine ce dont il a besoin pour enseigner un sujet particulier, est la participation des élèves. Si ceux-ci peuvent participer à la fois à la construction et à l'utilisation d'un appareil, il y a là une source de motivation supplémentaire qui permet souvent une meilleure compréhension du sujet traité. Un avantage complémentaire tient aussi au renforcement de la relation entre la science et la technologie. Cette approche se retrouve dans le Science Education Programme for Africa. A titre d'exemple, nous reproduisons une page de l'une de ses unités d'enseignement (fig. 24).

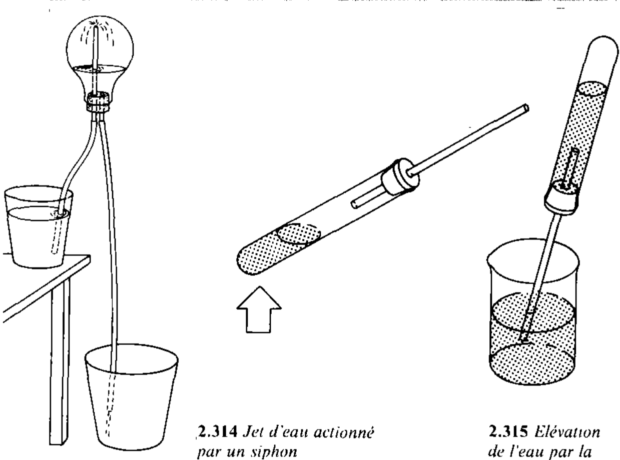
Un enseignant n'a pas lieu d'être particulièrement content de lui-même s'il a produit un appareil destiné à une démonstration, car celle-ci, adéquate dans certains cas, n'assure pas la participation active des élèves. Il est plus important que cet appareil, après vérification de sa capacité à communiquer l'information désirée, serve de prototype pour la construction d'autres exemplaires qui seront utilisés par les élèves.

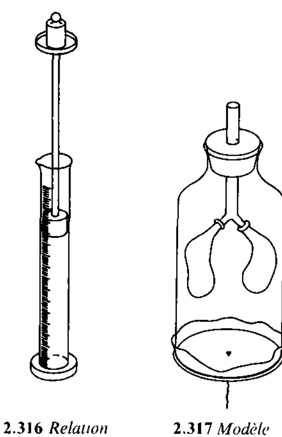
Ceux-ci ont aussi beaucoup d'enseignements à tirer du travail de construction même.

La liste suivante, empruntée au livre de l'Unicef: *Using science apparatus: A guide for teachers,* indique les objets utiles pour la construction de matériel destiné à des expériences simples ou la réparation de matériel endommagé:



Figure 25
Exemple de matériels tirés des ressources locales (reproduit de *Using science apparatus: A guide for teachers,* p. 209, New York, Unicef, 1974).





2.314 *Jet d'eau actionné par un siphon*

2.315 *Élévation de l'eau par la pression atmosphérique*

2.316 *Relation entre le volume et la pression de l'air*

2.317 *Modèle du fonctionnement des poumons*

Figure 26
Exemple de l'utilisation de quelques appareillages scientifiques simples (reproduits du *Nouveau manuel de l'Unesco pour l'enseignement des sciences).*

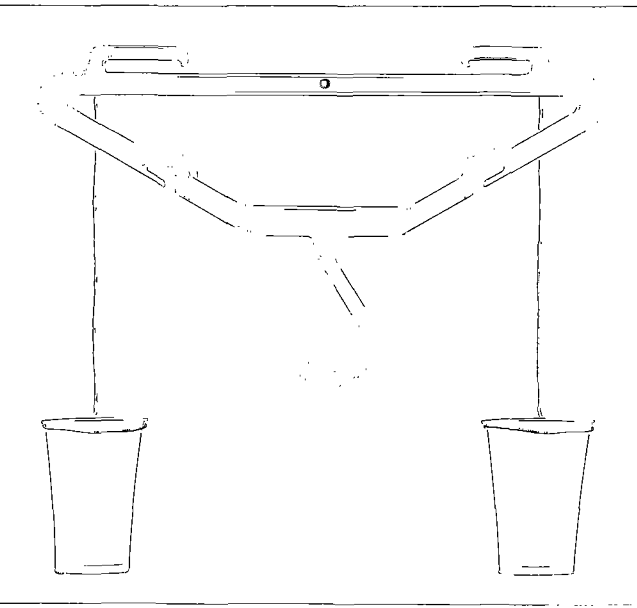


Figure 27
Le «porte-manteau-balance» est un exemple d'utilisation de matériel acheté localement.

Sacs de plastique
Ballons
Balles de tennis de table
Billes de roulement à billes
Perles de bois ou de plastique
Lames de rasoir
Bougies
Carton
Trombones
Pinces à linge
Colliers
Tasses en papier ou en plastique
Chevilles de bois
Papier d'aluminium
Assortiment de colles
Crochets
Anneaux à rideau
Elastiques
Moustiquaire
Papier de verre
Cire à cacheter
Feuilles de plastique
Fer-blanc
Feuilles d'aluminium
Bandes de laiton minces
Rayons de bicyclette
Agrafes
Pointes et semences
Vis
Laine d'acier
Baguettes de bois
Pailles
Ficelle
Rouleaux de plastique adhésif
Fil
Chambre à air de bicyclette
Tuyaux de plastique
Tuyaux métalliques
Valve de chambre à air
Fil de fer épais
Fil de fer mince
Bois
Billes
Aiguilles
Fil de pêche en nylon
Nettoie-pipes
Pinceaux
Mousse de polystyrène

Ayant produit un appareil qui fonctionne, le maître et ses élèves devront communiquer leurs idées à d'autres, par le moyen de la revue locale des professeurs de sciences ou de l'association locale des enseignants. D'autres enseignants pourront ainsi se trouver encouragés à réévaluer leur pédagogie et à mieux appliquer les nouvelles méthodes pour le plus grand bien de leurs élèves.

Il apparaît donc que l'enseignant, en décidant de ce qu'il procurera à ses élèves, ne se bornera pas à copier simplement des appareils existants, ayant probablement été conçus en fonction d'une culture et d'un système d'enseignement entièrement différents des siens, mais

plutôt de réaliser celui qui sera localement adapté à l'obtention d'un certain résultat. Il pourra naturellement copier dans une certaine mesure, en particulier en ce qui concerne un certain nombre de matériels de base tels que les râteliers pour tubes à essai et les récipients. Il doit comparer ses conceptions personnelles avec celles que d'autres ont expérimenté avec succès dans des situations similaires.

En plus de l'utilisation des compétences locales, le maître et ses élèves devraient disposer d'un équipement et de matériels de base pour construire ou assembler leurs propres appareils: essentiellement un jeu d'outils pour le travail du bois et du métal (voir fig. 28), et un établi équipé de bons étaux.

Voici un inventaire minimal de cet outillage:

Marteau
Tournevis (petit, moyen, gros)
Jeu de limes
Tenailles
Grande scie à métaux
et lames
Petite scie à métaux
et lames
Presses de serrage
Pinces à couper
Couteau
Perceuse à main et forets
Fer à souder et soudure
Acide à souder
Diamant pour couper le verre
Clef à molette
Jeu de clefs
Colle forte à base de résine du type
«Araldite»

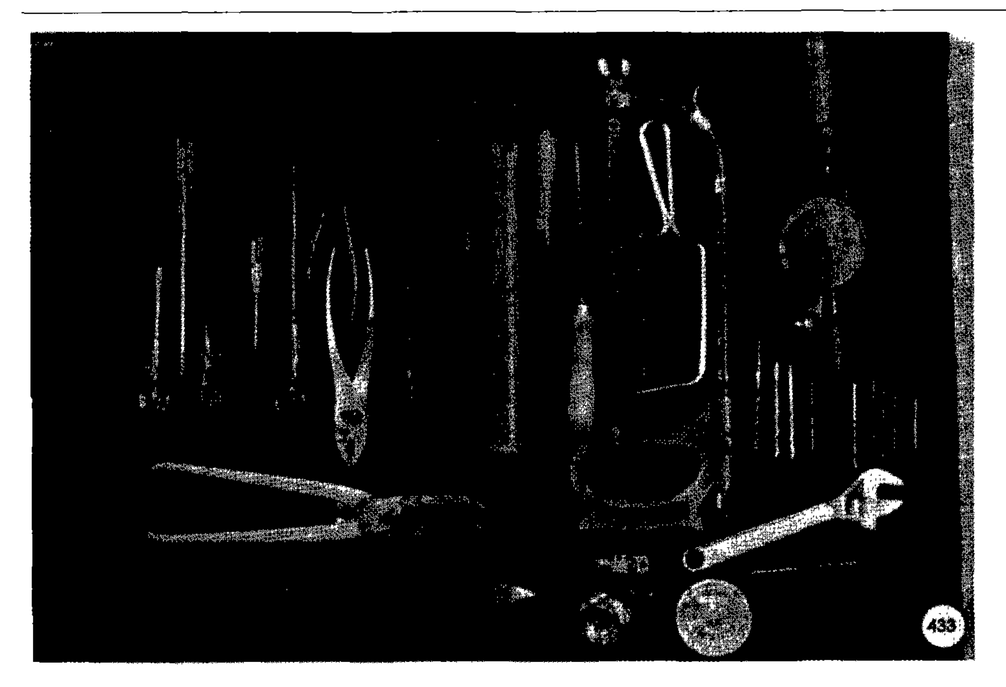


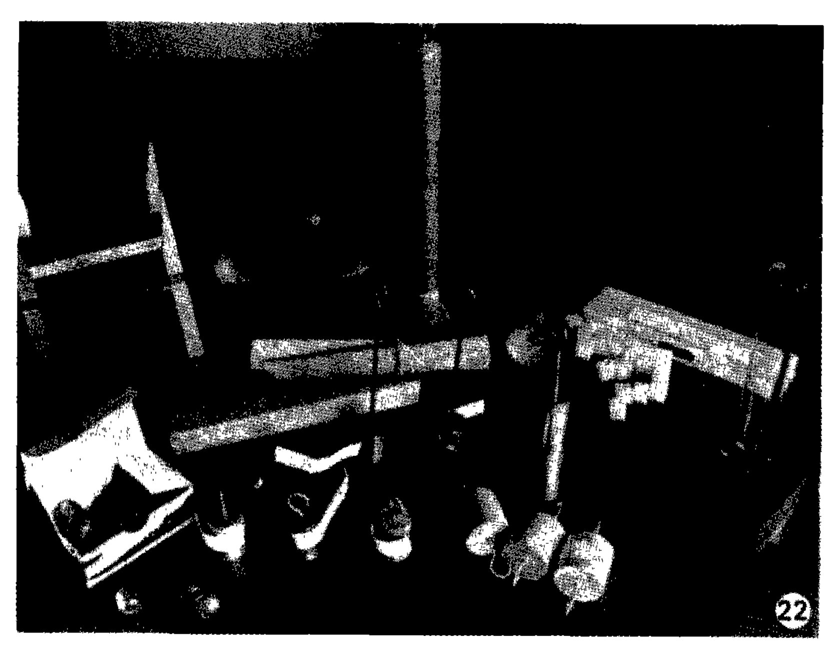
Fig. 28
Jeu d'outils (reproduit de *Using science apparatus,* p. 209).

Certains manuels de base sur le matériel improvisé pour l'enseignement des sciences seront également nécessaires (voir Bibliographie annotée en fin de chapitre).

Unités de production à grande échelle. La production locale de matériel d'enseignement scientifique pour l'ensemble du système scolaire est une entreprise très différente de ce qui précède. De telles unités de production à grande échelle existent dans nombre de pays, et cette politique tend à se développer. Chaque enseignant devrait vérifier si un centre de production de ce genre existe, ou est prévu dans son pays, car il peut lui être d'une aide précieuse. Lorsqu'il en existe un, il est vraisemblable qu'il fonctionne en liaison étroite avec les groupes responsables de l'élaboration des programmes afin d'étudier et de réaliser les matériels les mieux adaptés à ceux-ci. Le centre possède également, sans doute, une importante documentation et pourrait communiquer à l'enseignant la copie de plans cotés d'appareils qu'il souhaiterait réaliser localement. Celui-ci devrait également faire savoir à un tel centre qu'il est disposé à faire l'essai dans son école de tout matériel conçu par ce centre. Sans que cela prenne nécessairement beaucoup de temps, cette coopération permettrait de tenir compte des points de vue des enseignants sur la validité des appareils.

Jeux d'appareils. Le maître, lorsqu'il examine ce dont il aura besoin pour enseigner une question particulière, peut envisager un jeu complet de matériels et d'appareils. Celui-ci peut être constitué à la fois de matériels imprimés et d'appareils permettant une étude complète de la question. Certaines sociétés commerciales de matériel pédagogique vendent des nécessaires tout préparés destinés à l'apprentissage extrascolaire comme à l'usage scolaire. Les unités de production à grande échelle créées dans de nombreux pays ont également entrepris de se lancer dans des fabrications de ce genre. A titre d'exemple, citons le travail effectué par le Department of Science and Mathematics Education [Section de l'enseignement des sciences et des mathématiques] du National Council of Educational Research and Training (NCERT, ou Conseil national de la recherche et de la formation pédagogique) de New Delhi (Inde). La figure 29 représente certains éléments du nécessaire d'enseignement des sciences à l'école primaire produit par le NCERT.

Les maîtres pourront parfois, comme nous l'avons indiqué, préparer eux-même des nécessaires dans la salle de classe. L'extrait suivant du *Science Teachers Association of Guyana Journal* [Journal de l'Association des professeurs de sciences de Guyane] nous indique la méthode suivie par un enseignant:



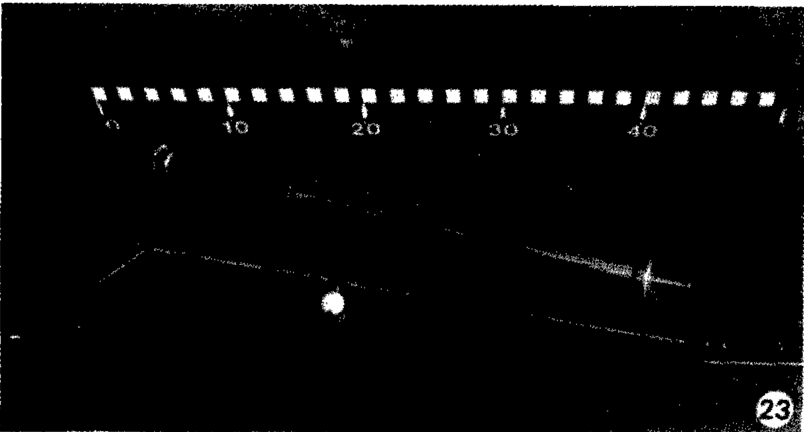
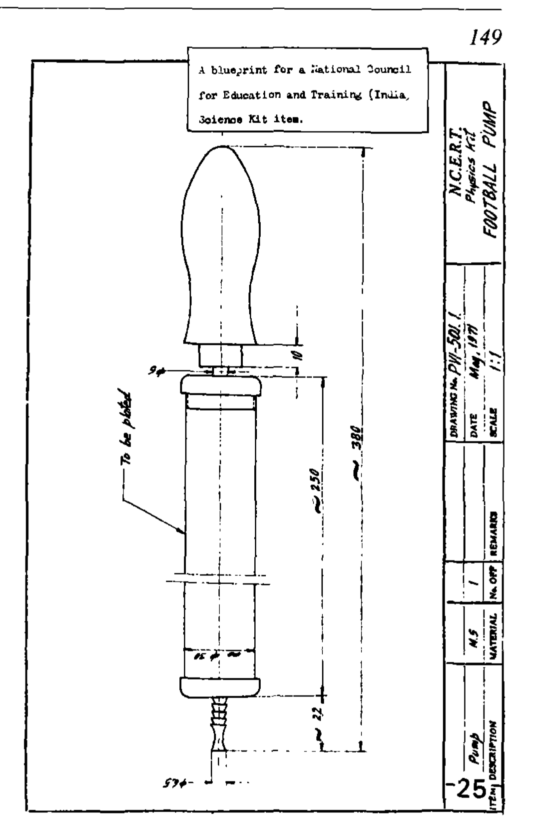
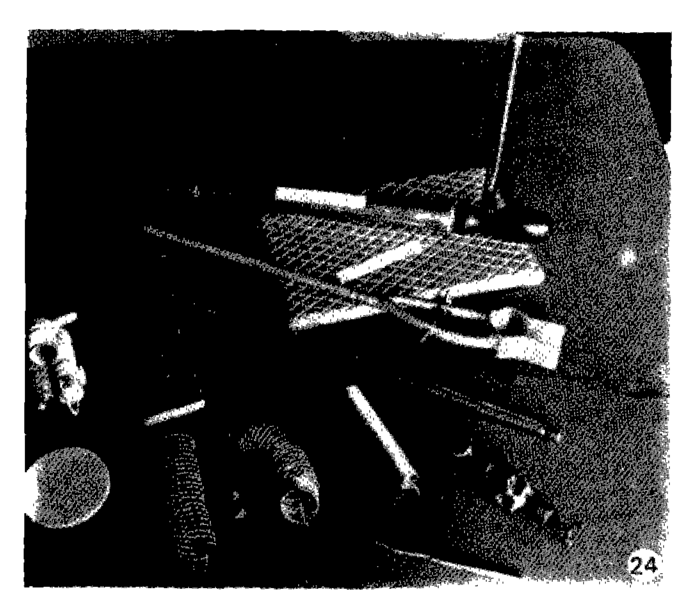


Figure 29
Éléments du nécessaire de sciences pour les écoles primaires (22, 23, 24), et croquis de fabrication coté (pompe de ballon de football) (25). (Reproduit de *Production of schools science equipment*, Commonwealth Secretariat, Londres, 1975.)

LES NÉCESSAIRES

1. Vous devez, très souvent, préparer pour une leçon de sciences du matériel que vous n'utiliserez peut-être plus avant de refaire la même leçon l'année suivante.
2. Peut-être pourrez-vous placer ce matériel dans une petite boîte sur





laquelle vous fixerez une étiquette, pour constituer ainsi un petit nécessaire.

3. Au bout d'un certain temps, vous posséderez ainsi une petite collection de ces nécessaires qu'il vous suffira de maintenir en bon état.
4. Vous avez la possibilité d'échanger ces matériels avec d'autres enseignants, ce qui est un bon exemple de coopération.

5. Vous pouvez également conserver quelques-uns de ces coffrets dans la salle de classe pour que des élèves puissent se livrer à des expériences dans leur temps libre, pendant les récréations par exemple.
6. Encouragez les élèves à fabriquer eux-mêmes leurs nécessaires de sciences.
7. S'il existe une pénurie de certains matériels essentiels, le ministère pourrait confectionner de petits nécessaires et organiser un service de prêt aux écoles, service qui en assurerait la mise à disposition et le ramassage.
8. A titre d'exemple, un nécessaire d'étude des sols pourrait être constitué par une petite boîte contenant: une feuille de papier journal pliée, une loupe, des tableaux montrant les types de sols et leur formation, six boîtes à conserve, dont quatre percées de trous, trois bouteilles, petites pelles pour la manipulation des sols, fiches de travail.

Matériels disponibles localement: produits chimiques, minéraux, etc.

Les produits chimiques pour l'enseignement des sciences s'achètent généralement chez un fournisseur de matériel scientifique. La nécessité d'avoir à importer la majorité de ces produits entraîne des délais de livraison d'un an ou plus. Les commandes en petites quantités ne sont pas économiques, car le coût du transport est souvent supérieur à celui des produits eux-mêmes. De plus, le transport des produits chimiques est soumis à des règlements internationaux, ce qui signifie que le fournisseur trouvera vraisemblablement plus facile d'effectuer des groupages à destination d'un même pays. Ces produits devraient, autant que possible, être achetés dans le pays, et les enseignants devraient donc se renseigner sur les possibilités d'approvisionnement local. Leur association professionnelle devrait être en mesure de leur fournir cette information.

Les exemples suivants de matériels qu'il est possible de se procurer localement sont donnés à titre indicatif. Ils ne sont nullement exhaustifs, car ces ressources sont très variées et dépendent des conditions locales.

Artisans locaux

Potier. Des oxydes locaux sont souvent utilisés pour la coloration et la glaçure. Le mica est utilisé dans le travail de la terre cuite.

Bronzier. Cire, limaille de laiton.

Orfèvre. Or, argent et produits chimiques utilisés pour le travail de ces métaux.

Commerçants locaux

Pharmacien. Aspirine et de nombreux autres produits chimiques.
Photographe. Hyposulfite de sodium, alun de chrome, etc.
Marchand de fruits et légumes. Manioc (étude de la chaîne amidon-sucre-alcool). Fruits (acide citrique, etc.), etc.
Bazar. Nombreux articles pour les boules antimites (naphtaline), etc.
Quincaillier. Cuivre, zinc, fer (limaille de fer), etc.

Industrie locale

Cimenteries. Chaux, silice, alumine, oxyde de fer, oxyde de magnésium, etc.
Industrie du caoutchouc. Soufre, sulfure de sodium, acide acétique, acide formique, etc.
Mines. Divers minerais et produits chimiques d'extraction et de séparation.
Huileries. Huiles minérales et leurs sous-produits, huiles végétales (huile de palme, etc.).

Récupération

Batteries d'automobiles. Acide sulfurique, sulfate de plomb, plomb, goudron.
Piles sèches. Électrodes en carbone, zinc (enveloppe extérieure), chlorure d'ammonium, dioxyde de manganèse (impur), goudron.
Bicyclettes. Caoutchouc, roulements à billes, aimants et fils électriques (dynamo), rayons, cuir, ressorts, axes, tube métallique.
Horloges. Ressorts, engrenages, roues, verre.
Automobiles. Une grande variété de matériaux.

Le tableau suivant extrait du *Journal de l'Association des professeurs de sciences de Guyane* présente, dans un contexte particulier, une analyse de ressources locales exploitables :

Ressources exploitables pour l'enseignement des sciences aux élèves du Certificate of Education 1974–1975

Type de ressources	*Exemples* (Guyane)
1. Ressources humaines	Fermier, pêcheur, charpentier, électricien, mécanicien, entrepreneur de pompes funèbres, plombier, mineur, professeur, médecin, ingénieur, inspecteur de santé, etc.
2. Ressources animales	Vaches, moutons, porcs, volaille, escargots, poissons, animaux des étangs, insectes, nuisibles, rongeurs, serpents, tortues, parasites.
3. Ressources forestières	Bois, plantes grimpantes, fruits, gomme, caoutchouc.
4. Ressources minérales	Bauxite, or, diamant, pétrole, gaz, roches.
5. Ressources agricoles	Riz, sucre, noix de coco, maïs, soja, haricots, pommes de terre, coton, ananas, citrons, farines, légumes.
6. Ressources du sol	Argile, sable, terreau.
7. Ressources de l'eau	Sucre, sel, lac, industrie hydro-électrique, pluie, rosée, rivières, l'océan Atlantique, puits, purification de l'eau, fourniture de l'eau.
8. Ressources de l'air	Vent, brise, composition de l'air, pression atmosphérique.
9. Ressources du soleil	Lumière, chaleur, énergie.
10. Ressources imprimées	Bibliothèques, journaux, brochures, films, bandes dessinées.
11. Ressources diverses	Boîtes de conserve, miroirs cassés, batteries, bouteilles, cartons, vis, aimants de dynamos de bicyclettes, etc. (recyclage et réutilisation de ces déchets).
12. Ressources institutionnelles	Zoos, musées, cinémas, jardins botaniques, laboratoires, hôpitaux, léproseries, institutions éducatives, usines.

Matériel d'importation disponible dans le commerce

Méthodes d'achat diverses. Les fabricants de matériel scientifique pour les écoles secondaires se sont rarement préoccupés, dans le passé, des besoins particuliers des pays en développement. Cependant, l'idée que les nouveaux programmes devaient être conçus ou adaptés localement au lieu d'être purement et simplement transposés tels quels d'un pays à un autre a modifié cet état de choses depuis cinq à dix ans. Malgré une vive concurrence, le coût des matériels importés constitue encore pour les écoles un sérieux obstacle. Les prix sont affectés par des problèmes de change, par les frais de transport et même par les droits de douane et taxes nationaux. Tout cela s'additionne et entrave l'utilisation du matériel indispensable à l'enseignement des sciences sous sa forme normale de recherche ouverte.

L'achat de matériel scientifique auprès d'un fournisseur local présente également des difficultés. Un agent local ne peut pas conserver des stocks de matériels d'importation en prévision de ventes locales, pour des raisons d'espace et des raisons financières liées aux problèmes de change. Également, les prix de tels matériels en stock seront

généralement plus élevés que prévu parce qu'ils auront déjà supporté les droits de douane.

Dans de nombreux pays, il est théoriquement possible d'obtenir le remboursement des droits de douane payés sur le matériel éducatif mais, en pratique, les démarches sont longues et n'aboutissent pas toujours. La procédure générale d'exemption consiste à présenter une demande aux autorités compétentes, qui est normalement transmise par l'intermédiaire du Ministère de l'éducation, mais cette demande doit souvent être préalable à l'achat.

Pour lutter contre l'augmentation du coût du matériel importé, on voit se développer une tendance aux achats en gros par les ministères de l'éducation, qui se chargent ensuite de la répartition dans les écoles. L'inconvénient que peut éventuellement constituer la perte par l'enseignant du libre choix du matériel peut être évité par l'établissement par des enseignants en activité de listes types, et compte tenu du fait que ces listes ne concerneront que des matériels qu'il est impossible de se procurer localement. Par exemple, des matériels standards simples comme des râteliers pour tubes à essai peuvent tous être fabriqués sur place.

Certains pays participent au système de bons d'achat de l'Unesco. Celui-ci permet l'achat en monnaie locale de certains matériels éducatifs importés de l'étranger.

L'Unicef assure le stockage et la distribution d'une grande variété de matériels éducatifs destinés à des projets bénéficiant du soutien des institutions des Nations Unies.

Le guide ci-après, qui signale certains pièges à éviter, pourra être utile lors de l'achat de matériel auprès d'un fournisseur d'équipement scientifique.

Sélection des articles à acheter

1. Établir une liste de tous les articles indispensables, en prévoyant le remplacement des articles cassés (liste 1).
2. Établir une liste de tous les articles souhaitables (liste 2).
3. Diviser chaque liste en deux parties *a*) articles à fabriquer localement; *b*) articles devant être importés.
4. Chiffrer le coût des articles à fabriquer localement (obtenir des artisans locaux un devis pour le nombre requis en soumettant si possible un spécimen).
5. Obtenir l'accord du chef d'établissement pour un achat local (en présentant la comparaison du coût d'une fabrication locale et d'une importation).
6. Chiffrer le coût du reste des articles de la liste 1 (voir section suivante).

7. Établir une priorité entre les articles de la liste 2, dans la limite du budget restant disponible.
8. Préparer les commandes et les soumettre à l'autorité compétente, etc.

NOTA : *a*) en établissant le budget, ne pas oublier de prévoir les achats locaux de matières consommables pour l'ensemble de l'année; *b*) conserver une petite réserve dans le budget pour couvrir les frais de réparation du matériel, etc.
RAPPEL : un rangement soigneux diminuera la casse et permettra de réduire les remplacements au profit de l'achat de nouveau matériel.

Guide pour la commande de matériel nouveau auprès d'un fournisseur du commerce

1. Déterminer avec soin les appareils et l'équipement requis, en tenant compte de l'évolution de l'enseignement des sciences (votre commande mettra peut-être plus d'un an à vous parvenir).
2. Bien étudier les catalogues et ne pas trop insister sur la précision, qui se paie. La précision dépend, dans la pratique, des conditions de travail. Par exemple une balance de précision au millième ne sera précise qu'au centième ou au dixième si elle est utilisée sur une table de bois près d'une fenêtre dans un laboratoire ouvert. Une salle spéciale avec des tables rigides, exemptes de vibrations, et sans courants d'air permettra d'approcher la précision spécifiée.
3. Obtenir un devis de prix hors taxes, avec frais de livraison suivant conditions. Simultanément, se procurer auprès du bureau local du ministère de l'éducation la formule appropriée de demande d'exemption des droits d'importation (si les commandes doivent être passées par le ministère, c'est à lui de faire cette demande).
4. A la réception du devis du fournisseur, vérifier qu'il s'agit d'un prix et d'une date de livraison garantis. Vérifier également qu'il n'y a pas de frais de livraison payables à la réception de la commande. Parfois, les clauses de la commande ne couvrent que la livraison au point d'entrée dans le pays de destination, et l'on doit payer ensuite les frais de dédouanement, de transit et de livraison à l'école. Un fournisseur de confiance peut se charger de toutes ces opérations (pour les coûts et conditions, voir catalogue).
5. Une fois bien fixé, faire la commande et il ne reste plus qu'à attendre. Le document d'exemption de droits doit généralement être joint à la commande.

NOTA : En demandant un devis, ne pas omettre de demander des précisions sur le service après-vente dans le cas d'équipements spécialisés.

Réception du matériel neuf: responsabilité de l'enseignant

1. Déballer avec soin, en veillant bien à vérifier la conformité du contenu avec la liste. Se souvenir que les emballages peuvent servir pour des rangements ou pour la fabrication d'appareils simples.
2. Lire avec soin la notice ou le manuel d'instructions qui doit accompagner le matériel. (Certains distributeurs locaux peu scrupuleux sont connus pour avoir prélevé les manuels d'instructions dans les colis pour les revendre plus tard ou les facturer en plus au moment de la livraison.)
3. Retirer l'emballage de protection et rechercher les avaries éventuelles. En cas d'avaries ou d'éléments manquants, le notifier immédiatement par écrit au fournisseur. Cette demande de remplacement des articles endommagés ou manquants fait généralement l'objet d'un délai légal de prescription (ce renseignement figure dans les conditions de la formule de commande).
4. Si le matériel paraît en bon état, l'installer en suivant les instructions. Veiller particulièrement à retirer, s'il y a lieu, les supports, brides et vis de fixation destinés à assurer la sécurité pendant le transport.
5. Si l'essai est satisfaisant, inscrire le matériel à l'inventaire du laboratoire.
6. Le ranger, suivant le cas, dans le magasin ou le laboratoire, en veillant à ce que sa protection et son entreposage tiennent compte des conditions climatiques locales.

IMPORTANT: Le non-enlèvement des brides, etc., mentionné en 4 ci-dessus, est souvent une source de litige lors de demandes de remplacement pour «non-fonctionnement à la livraison».

Entretien et réparations

L'entretien et la réparation du matériel scientifique scolaire seront de préférence assurés localement. Le représentant local du matériel d'importation pourra, si la quantité vendue justifie cet investissement, financer la formation d'un technicien pour certains équipements très spécialisés en vue d'offrir un service de réparation. Les centres scientifiques et les unités à faibles coûts de production, comme les industries à domicile, assurent souvent des réparations. La maxime «mieux vaux prévenir que guérir» s'applique tout à fait au matériel et à l'équipement de laboratoire. Un rangement soigneux et une attention simple mais régulière au moment de l'utilisation devraient permettre d'éviter les réparations qui sont la conséquence d'un accident ou d'une erreur d'utilisation.

Un bon enseignant de sciences devrait être capable d'effectuer des réparations simples. En effet, les moyens de réparer ne se trouvent pas toujours localement, et le matériel endommagé doit être soit mis au rebut, soit envoyé au loin pour être réparé. Cette dernière solution, en raison des problèmes dus au transport, ne garantit par le retour d'un matériel en état de marche. Un essai de réparation par l'enseignant peut être couronné de succès; dans la négative, celui-ci pourra toujours recourir à la seconde solution consistant à envoyer le matériel à réparer et il n'aura perdu qu'un peu de temps.

Si l'école est à distance raisonnable d'une université ou d'un établissement de recherche de ce genre, l'enseignant devrait en profiter pour s'entretenir avec des techniciens de tout problème posé par son matériel. Il devrait également examiner la possibilité de faire appel à des réparateurs locaux, car un réparateur de radio peut également réparer certains équipements électroniques.

Une autre ressource à la disposition de l'enseignant est l'assistance que peut offrir un aide de laboratoire. Dans les pays développés, les établissements secondaires possèdent souvent un personnel auxiliaire de techniciens de laboratoire qualifiés et de techniciens des moyens audio-visuels. Dans les pays en développement, ce genre de personnel n'existe souvent que dans les universités ou autres établissements de recherche. L'école ne possède généralement qu'un employé local qui aide à entretenir la propreté et l'ordre du laboratoire, mais a très peu de responsabilités et pratiquement aucune formation scientifique. Au prix d'un petit effort, l'enseignant peut le former pour en obtenir des services beaucoup plus importants. Nous indiquons ci-après les services dont peut s'acquitter un aide de laboratoire si l'enseignant veut prendre la peine de le former.

Tâches possibles d'un aide de laboratoire

1. Propreté et rangement des tables.
2. Nettoyage et rangement de la verrerie et autres appareils.
3. Rangement des appareils.
4. Déballage et vérification des appareils nouveaux lors de leur réception.
5. Inventaires.
6. Préparation des solutions et autres produits d'usage courant.
7. Préparation du laboratoire avant les cours en veillant à préparer en quantité suffisante les produits nécessaires pour les travaux pratiques.
8. Vérifications régulières, entretien et petites réparations des appareils.
9. Construction de nouveaux appareils.
10. Aide à la préparation et à l'utilisation des moyens visuels.

11. D'une manière générale, assistance à l'enseignant dans le laboratoire.

Cette énumération constitue un guide général, et les services rendus en pratique dépendront des connaissances et de la formation de l'intéressé.

S'il existe dans le secteur un nombre suffisant d'écoles possédant des auxiliaires de laboratoire, le ministère de l'éducation devrait être contacté en vue de l'organisation d'un cours de formation élémentaire à leur intention. Un cours de deux semaines devrait déjà suffire pour leur inculquer de bonnes connaissances de base sur la manière de s'occuper d'un laboratoire.

La sécurité dans l'enseignement des sciences

Attitude et responsabilités des enseignants

Ce qui suit n'est pas destiné à traumatiser les enseignants ni à leur faire peur au point de les dissuader d'essayer de modifier leur approche pédagogique, mais a pour but d'attirer l'attention sur les points évidents, ou moins évidents, où existent des risques d'accident. Nous espérons ainsi amener le lecteur à reconsidérer son enseignement et son environnement en vue de leur apporter les améliorations nécessaires.

Le progrès de la science s'accompagne d'un accroissement de ses dangers. Chez lui et au sein de la communauté, l'enfant fait l'apprentissage de la sécurité en entendant parler des dangers plutôt qu'en faisant personnellement l'expérience. Compte tenu du niveau de développement de l'élève à la fin de l'enseignement primaire et au début du secondaire, il est également nécessaire d'attirer son attention de manière directe sur les dangers que présente l'apprentissage des sciences. C'est à la fois une précaution contre les accidents dans le laboratoire de l'école et un moyen de développer chez lui une disposition d'esprit qui le marquera pour toute son existence. Tant que l'individu n'a pas atteint le niveau nécessaire de raisonnement et de discernement, *la sécurité s'enseigne, elle ne s'apprend pas.* Heureusement, la majorité des enseignants sont conscients de la responsabilité qui leur incombe d'informer leurs élèves des précautions à prendre au cours des travaux pratiques de sciences. Le professeur de biologie, par exemple, informe sa classe des dangers d'infection dus aux coupures, le professeur de chimie des dangers des produits chimiques, et le professeur de physique de ceux de l'électricité. La responsabilité de l'enseignant ne s'arrête pas là. Il doit être également conscient des

risques qui ne sont pas aussi évidents. Par exemple, des propriétés explosives de l'acide nitrique et de l'alcool lorsqu'ils sont versés dans un même récipient, ou des dangers de l'acide chlorhydrique formé à partir du chlorure d'hydrogène qui se dégage lorsque du chlorure de sodium (sel commun) et de l'acide sulfurique sont jetés dans la même poubelle. De même, l'utilisation d'animaux s'accompagne d'un danger de morsures, et de contagion si l'animal est infecté ou porteur de germes. Il est nécessaire d'être très prudent en se procurant des animaux et, chaque fois que possible, il convient d'avoir recours à un fournisseur de confiance. Le plus intéressant et le plus sûr pour le maître et ses élèves est de les élever eux-mêmes en partant d'une souche de bonne qualité.

Telle est la responsabilité des enseignants. Il est tout à leur honneur que le nombre d'accidents graves soit réduit par rapport au nombre des élèves de sciences, mais une vigilance constante est nécessaire pour éviter l'enchaînement :

RISQUE + ERREUR HUMAINE = ACCIDENT

Dans le cadre du thème général «Bien tenir la maison», la procédure suivante devrait aider l'enseignant, débutant ou non, à maintenir un environnement exempt d'accidents.

1. *Prévoir* au début de chaque trimestre une période consacrée à la discussion des différents aspects de la sécurité.
2. *Examiner* le laboratoire et la salle de classe en recherchant tous les dangers évidents et les moyens de les éliminer.
3. *Examiner* les techniques d'enseignement et identifier les dangers liés à la matière enseignée.
4. *Préparer* et appliquer des règles valables pour le laboratoire et compréhensibles pour tous les élèves.
5. *Obtenir* un matériel convenable de lutte contre l'incendie, de sécurité et de premier secours.

Enfin, l'enseignement de la sécurité doit éviter toute insistance excessive. Trop de règles restrictives peuvent créer une zone de danger, simplement parce que personne ne prendra la peine de les lire ou parce qu'elles seront trop contraignantes. Le meilleur résultat sera obtenu en identifiant clairement les dangers présentés par les nouveaux produits ou matériels au moment de leur introduction, en maintenant un environnement de travail propre et ordonné, et en donnant le bon exemple aux élèves par vos propres techniques de travail.

Sources possibles d'accidents et directives de sécurité

Nous attirons ci-après l'attention de l'enseignant sur certains points en présentant quelques directives relatives à la sécurité, aux premiers secours et à l'enseignement de la sécurité.

Fenêtres et portes. Doivent être en bon état ; la ventilation doit pouvoir être maximale en cas de dégagement excessif de vapeurs, et minimale en cas d'incendie.

Tables, sièges et sol. Doivent être en bon état, pour éviter les renversements accidentels de liquides et les chutes.

Robinets et tuyaux de gaz. Doivent être en bon état de fonctionnement et sans fuites.

Robinets d'eau et éviers. Les fuites rendent le sol glissant et font pourrir les menuiseries.

Prises et canalisations électriques. Les prises cassées doivent être remplacées immédiatement ou condamnées pour éviter tout contact.

Placards et rayonnages. Doivent permettre de ranger en sécurité le matériel et les produits. Les produits toxiques sont à ranger dans un placard fermant à clef. Les produits inflammables, liquides compris, doivent être enfermés dans un local bien ventilé, à l'épreuve du feu, éloigné du local principal de rangement et situé de préférence à l'extérieur du bâtiment.

Appareils et équipements. Doivent être tous en bon état. La verrerie cassée doit être réparée ou mise au rebut.

Matériel de sécurité. Tous les appareils doivent être vérifiés régulièrement. Vérifiez que le nécessaire de premier secours est bien complet.

Excursions sur le terrain. Prévoyez les risques d'accident et les procédures correspondantes.

Attention! Il a été constaté par des enseignants en activité ou des spécialistes de la pédagogie des sciences que nombre de travaux pratiques sont dangereux par suite d'anomalies des réactions ou simplement de la nature des substances utilisées. Par exemple, l'ingestion de mercure en petite quantité peut être biologiquement dangereuse, de même que ses vapeurs. Leur forte concentration en mercure fait donc déconseiller l'utilisation de réactifs comme celui de Nessler (pour l'ammoniac) ou celui de Millon (pour le travail sur les protéines). Les enseignants devraient s'efforcer d'obtenir de leurs organisations professionnelles (ou de toute autre source) une information régulière sur les tendances et les dangers relatifs à l'utilisation des produits toxiques.

Des précautions supplémentaires devraient être observées en ce qui concerne l'utilisation des matériels vivants:

Animaux. Utiliser des souches non infectées. Veiller à toujours disposer du nombre nécessaire de cages. Veiller à la bonne observation des méthodes et procédures de nettoyage régulier des cages.

Micro-organismes et cultures. Éviter l'utilisation de micro-organismes d'origine potentiellement dangereuse. Avant toute manipulation par les élèves de récipients de Petri contenant des bactéries, en sceller le couvercle avec du ruban adhésif.

Etiqueter tous les récipients.

S'il est nécessaire d'ouvrir les récipients pour examen, tuer les micro-organismes en versant quelques gouttes de formol (en solution dans le méthanol) sur un morceau de papier filtre et laisser celui-ci à l'intérieur pendant au moins une heure avant examen par les élèves.

Avant de les jeter, détruire toutes les cultures soit à l'autoclave, soit au moyen d'un désinfectant puissant et d'eau chaude (ne pas utiliser l'eau chaude et l'autoclave avec les récipients de Petri en plastique).

Quelques questions à se poser (cette liste n'est pas exhaustive):

1. Les flammes des brûleurs Bunsen ne sont pas lumineuses et ne se voient pas toujours en plein soleil. Peuvent-elles, si on les oublie, mettre le feu à quelque chose?
2. Les bouteilles de gaz sont-elles stockées au soleil (ou fixées à un mur extérieur sans aucune protection)?
3. Des vapeurs de liquides inflammables pourraient-elles prendre feu au contact d'une source de chaleur éloignée du lieu où sont utilisés ces liquides? (Ne pas oublier qu'elles sont généralement plus lourdes que l'air.)
4. Les récipients de liquides inflammables sont-ils entreposés sur des plateaux assez profonds pour retenir le liquide dans l'éventualité d'un bris?
5. Les lunettes, les écrans et les gants de protection sont-ils à portée de la main et sont-ils utilisés?
6. Les techniques de manipulation des matériels vivants sont-elles sûres?
7. Les matériels et installations électriques sont-ils corectement câblés et mis à la terre chaque fois que nécessaire?
8. Y a-t-il des élèves souffrant de handicaps physiques (ou autres)?
9. Les produits chimiques sont-ils tous étiquetés correctement?
10. Connaissez-vous les dangers des produits et des matériels que vous utilisez et les règles de sécurité correspondantes?
11. Avez-vous essayé vous-même toutes les expériences que vous faites réaliser à vos élèves?

12. Avez-vous prévu d'informer les élèves des dangers particuliers que présentent leurs recherches? Par exemple, se rendent-ils compte des dangers de la succion des pipettes?

Nous reproduisons (fig. 30) un spécimen d'étiquette réalisée par la British Association for Science Education [Association britannique pour l'enseignement de la science] qui a ainsi préparé 99 étiquettes différentes pour les produits chimiques le plus couramment utilisés en laboratoire.

Figure 30
Spécimen d'étiquette

P_4O_{10} PENTOXYDE DE PHOSPHORE M,284	
ATTENTION	**MESURES D'URGENCE**
Poussière très irritante Corrosif en cas d'humidité Garder au sec Éviter tout contact avec la peau, les yeux et les vêtements UTILISER DES LUNETTES ET DES GANTS DE PROTECTION Réagit vigoureusement en présence d'eau	Yeux — Rincer à l'eau et voir le médecin Poumons — Évacuer les lieux et observer le repos Bouche — Rincer à l'eau, faire boire de l'eau puis du lait de magnésie Peau — Laver à grande eau **Si du liquide se renverse – laver à grande eau.**
ASSOCIATION BRITANNIQUE POUR L'ENSEIGNEMENT DE LA SCIENCE	

Désignation des produits chimiques. L'Union internationale de chimie pure et appliquée est un organisme responsable, entre autres choses, de la normalisation des termes chimiques. Les appellations communes sont encore largement utilisées, mais on tend de plus en plus à adopter des termes normalisés pour l'enseignement des sciences.

Règles de sécurité. Les recommandations suivantes ont été proposées dans un cours de formation d'enseignants comme système de règles de sécurité. Les enseignants peuvent choisir celles qui leur conviennent pour établir leur règlement de laboratoire, qui pourrait être distribué aux élèves et affiché.

1. Suivre *toutes* les instructions à la lettre.
2. Penser à la sécurité des camarades. Le laboratoire est un endroit où l'on travaille sérieusement.
3. Ne faire que les expériences demandées par le maître.
4. Signaler immédiatement tout accident ou blessure.
5. Ne pas travailler dans le laboratoire et la salle de travaux pratiques sans surveillance.
6. N'utilisez aucun équipement sans avoir reçu du maître les instructions nécessaires et sans être sûr qu'on sait s'en servir.

7. N'utiliser aucun produit chimique sans que le maître ait expliqué son usage et les précautions à prendre.
8. Ne jamais toucher les matériels et les équipements placés sur la table de démonstration.
9. Apprendre sans délai l'emplacement et le fonctionnement des extincteurs et autres matériels de premier secours.
10. Ne sortir de la salle de classe aucun matériel de laboratoire sans instruction du maître.
11. Toujours faire très attention en transvasant ou en versant des réactifs. Si du réactif se répand, aviser immédiatement le maître afin que soit assuré un nettoyage approprié.
12. Étudier chaque expérience avant la classe. Cela vous permettra non seulement de gagner du temps mais aussi d'éviter des erreurs et des accidents inutiles.
13. Laver immédiatement à l'eau toute partie du corps entrée en contact avec un réactif puissant.
14. En cas de contact d'un produit chimique avec les yeux, laver immédiatement ceux-ci à l'eau courante.
15. En chauffant un tube à essai, ne jamais regarder à l'intérieur de celui-ci, et ne pas diriger son ouverture vers un autre élève.
16. En chauffant un liquide dans un tube à essai, commencer à chauffer en descendant à partir du haut, pour éviter que la vapeur emprisonnée sous le liquide, au fond du tube, ne provoque l'explosion de celui-ci.
17. Pour sentir l'odeur des gaz, agiter la main au-dessus de l'échantillon et flairer avec précaution.
18. Travailler toujours dans une salle bien ventilée. La plupart des vapeurs sont toxiques et peuvent causer des affections respiratoires graves. Les vapeurs de formol sont dangereuses pour les yeux et la gorge.
19. Travailler au laboratoire en portant un tablier et des lunettes protectrices conformément aux instructions reçues.
20. Eviter toute flamme lors de l'utilisation de liquides volatils inflammables comme l'alcool.
21. Les bonbonnes de produits chimiques dangereux comme les acides et les bases ne doivent être manipulées que par le maître.
22. Ne jamais verser d'eau dans un acide concentré. Pour diluer un acide, verser très progressivement l'acide dans l'eau en agitant constamment.
23. Manier les substances corrosives avec les plus grandes précautions. Des précautions spéciales doivent être prises avec les solutions concentrées d'acide sulfurique, d'acide nitrique, d'acide acétique glacial et les solutions concentrées de bases caustiques et d'autres produits dangereux comme le phénol, le brome, l'iode.

24. Ne jamais remettre des réactifs dans des bouteilles, ni intervertir les bouchons des bouteilles ou poser ceux-ci sur la table. La contamination des produits peut provoquer des réactions dangereuses.
25. Après pliage du verre, laisser refroidir sur une plaque d'amiante ou un grillage avant manipulation.
26. Ne jamais forcer sur les tubes de verre, les thermomètres ou tout autre matériel fragile pour les faire entrer ou sortir des bouchons ou des tuyaux de caoutchouc. La glycérine est dans ce cas à préférer à l'eau comme lubrifiant.
27. Ne jamais dépasser une pression de 9 kilogrammes avec la marmite à pression. L'utiliser avec précaution et relire préalablement le manuel d'instructions.
28. Interdire toute manipulation d'animaux de laboratoire vivants ou morts sans instructions du maître.
29. Placer les spécimens, les déchets solides, le verre cassé et les autres déchets de laboratoire dans les récipients spécialement prévus à cet effet. N'utiliser la corbeille à papier que pour y mettre des papiers.
30. Avant la fin du cours, nettoyer et essuyer les surfaces de travail et le matériel de laboratoire. Tout objet manquant ou cassé doit être signalé au maître.
31. Ne pas prélever directement des réactifs dans les stocks de laboratoire. Prendre des récipients pour aller chercher des produits dans le magasin. Conserver tous les spécimens dans les bacs de dissection.
32. Ne jamais goûter, manger ou boire aucun produit sans instruction du maître. Considérer tous les réactifs comme toxiques.
33. Utiliser les colorants conformément aux instructions. Ne jamais en mettre sur les vêtements ou sur les tables.
34. Ne jamais prendre dans la main un appareil électrique venant d'être utilisé. La plupart d'entre eux chauffent et toute manipulation sans vérification préalable de leur température présente un risque de brûlures graves.
35. Ne jamais mettre en court-circuit des piles ou des batteries. La chaleur dégagée dans les fils peut causer de graves brûlures, avec en outre le risque de griller les appareils.
36. Signaler au maître les miroirs, prismes et plaques de verre présentant des arêtes coupantes.
37. Signaler au maître toute casse de verrerie. Empêcher les autres élèves d'approcher et, surtout, ne pas essayer d'enlever les débris avant d'avoir reçu les instructions et le matériel nécessaires si des produits chimiques sont en cause.

38. Utiliser avec les thermomètres des bouchons de liège plutôt que des bouchons de caoutchouc à moins que la glycérine ne soit utilisée comme lubrifiant.
39. Les appareils électriques à haute tension ne doivent être branchés qu'*après* accord du maître.
40. Manier avec les plus grandes précautions les scalpels et autres instruments acérés.

NOTA : L'enseignant doit s'assurer que ses élèves sont confortablement installés et que le matériel est placé à portée de la main, et non du côté opposé de la table.

Premier secours. Tous les enseignants doivent avoir une connaissance des soins élémentaires de premier secours. Il est également important qu'ils sachent reconnaître dans quels cas des soins médicaux sont nécessaires. Tous les locaux de travaux pratiques devraient être dotés d'un nécessaire de premier secours comprenant : quelques bandages de diverses dimensions ; un bandage triangulaire pour servir d'écharpe ; des pansements adhésifs ; une paire de ciseaux ; des paquets de coton stérile ; une bouteille d'un antiseptique léger ; une pommade antiseptique ; des épingles de sûreté ; une œillère ; un bain oculaire.

Des antidotes spéciaux peuvent également être nécessaires en cas d'utilisation de produits chimiques particulièrement dangereux. Il y a également lieu de prévoir un livret de constat d'accident avec un crayon, pour rendre compte des circonstances de l'accident et du traitement effectué.

Pour plus de détails, consulter votre antenne locale de la St- John's Ambulance Brigade, la Croix-Rouge ou le Croissant-Rouge, selon le cas.

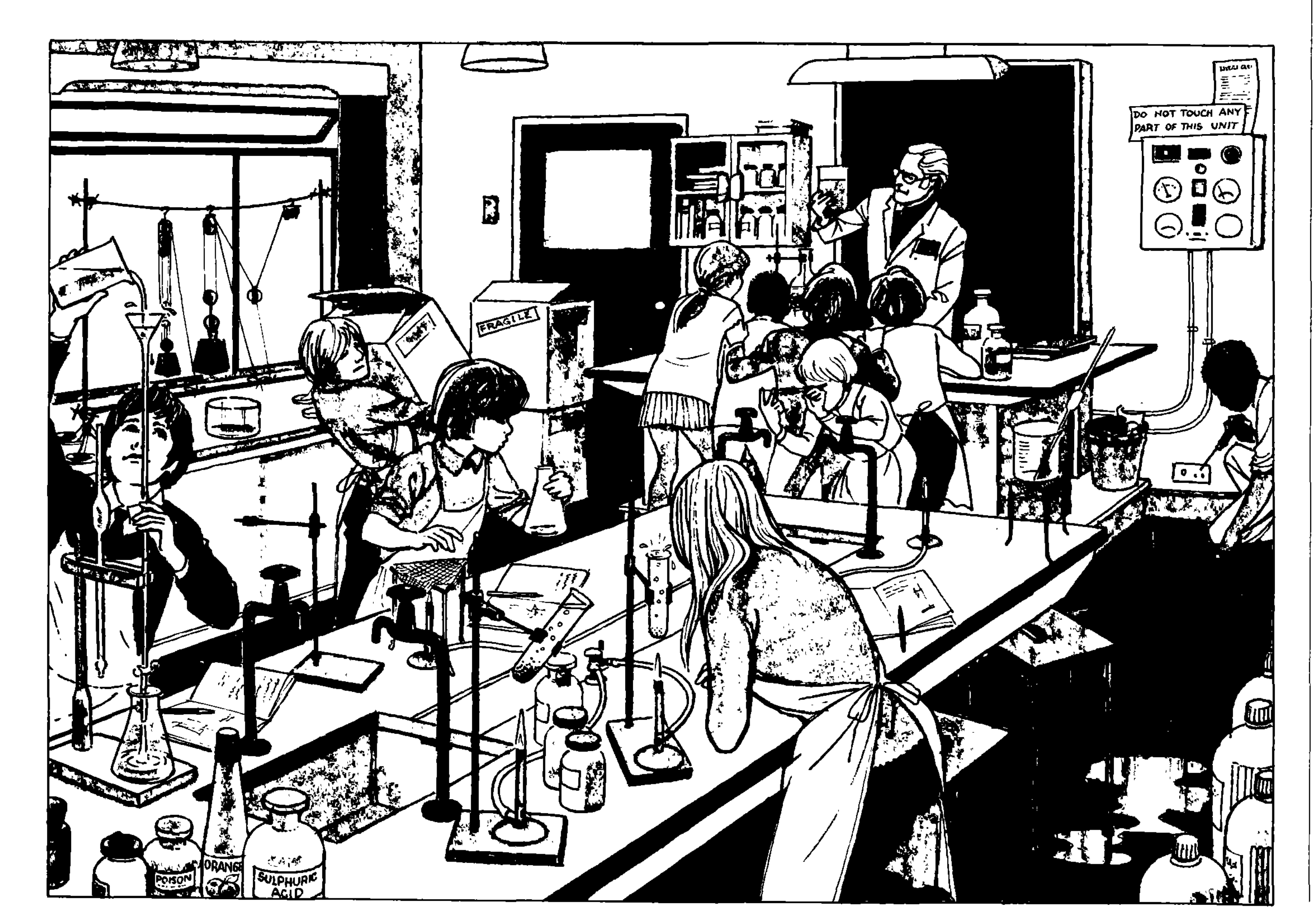
Équipement de sécurité. Celui-ci devrait de préférence être constitué de la manière suivante : extincteurs ; seaux de sable ; couverture anti-feu ; poubelles *étiquetées* ; lunettes de protection ; gants de caoutchouc ; écrans de protection ; tabliers ou blouses de laboratoire.

Exemple de méthodes d'enseignement de la sécurité. Les images suivantes illustrent des situations dangereuses. Les élèves ou des groupes d'élèves pourraient être invités à identifier les dangers et à en dresser la liste. Cet exercice pourra être suivi d'une discussion sur les causes et les responsabilités au cours de laquelle le maître insistera sur la relation qui existe entre chaque élève et les autres membres de la classe et montrera que les élèves sont mutuellement responsables de leur sécurité.

Les images pourront être utilisées pour organiser entre les élèves un concours suivi d'une discussion ou encore servir à une exposition.

Question au lecteur: Pouvez-vous identifier au moins dix-huit dangers sur l'image A et vingt sur l'image B? (p. 166 à 169.)

Image A La sécurité au laboratoire: identifier les dangers



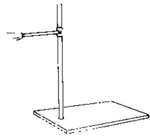
Ce moyen d'enseignement a été réalisé en coopération avec le Science Teacher Education Project [Projet de formation du professeur de sciences]. Il est destiné à servir d'exercice de prévention des accidents au laboratoire à l'intention des élèves des années médianes de l'enseignement secondaire. Une image est distribuée à chaque élève ou groupe d'élèves, qui sont chargés de dresser la liste des dangers identifiés.
Nous donnons ci-dessous la liste des principaux dangers. Un élève observateur pourra peut-être en découvrir d'autres.

Quelques-uns des principaux dangers représentés sur l'image

1. Eau répandue sur un sol ciré.
2. Appareil élevé disposé au bord de la table — une longue pipette dépasse d'un vase posé sur un trépied.
3. Un élève va poser la main par inadvertance sur un trépied préalablement chauffé.
4. Chauffage d'un tube à essai orienté dans une direction risquant la projection de liquide en ébullition sur les élèves.

4a. Chauffage d'un tube à essai contenant une quantité excessive de liquide.

5. Stockage de bouteilles de produits inflammables ou corrosifs (par exemple, éther ou acide chlorhydrique) sur le sol où elles peuvent être heurtées.
6. Support de cornue monté de telle sorte qu'il basculera quand on l'utilisera.



7. Tuyauteries de caoutchouc passant au milieu des bouteilles et autres appareils qui risquent d'être renversés ou de tomber sur la table. L'encombrement des tables peut être la source de nombreux accidents. Les bouteilles non utilisées ne devraient pas rester sur la surface de travail.
8. Utilisation d'un tournevis de métal pour explorer une prise de courant.
9. Gros poids de métal ou autres objets lourds suspendus à des ficelles ou des fils minces (dans l'expérience avec des poulies).
10. Cheveux longs pendant près de la flamme d'un brûleur Bunsen, vêtements mal ajustés.
11. Produits chimiques contenus dans des bouteilles à produits alimentaires encore revêtues de leur étiquette d'origine.
12. Transvasement de liquides effectué au-dessus du niveau des yeux (ici, dans une éprouvette graduée).
13. Issues bloquées.
14. Élèves regardant une démonstration de trop près.
15. Élève lançant un projectile de papier.
16. Élève transportant des charges qui l'empêchent de distinguer où il marche.
17. Les consignes de sécurité placées au-dessus du tableau électrique sont trop hautes pour que les élèves puissent les lire.

Publié par la Royal Society for the Prevention of Accidents, Royal Oak Centre, Brighton Road, Purley, Surrey CR2 2UR Royaume-Uni (Publication nº SE.39*a*).

Image B La sécurité au laboratoire: identifier les dangers



Ce moyen d'enseignement a été réalisé en coopération avec le Science Teacher Education Project. Il est destiné à servir d'exercice de prévention des accidents au laboratoire à l'intention des élèves des années médianes de l'enseignement secondaire. Une image est distribuée à chaque élève ou groupe d'élèves, qui sont chargés de dresser la liste des dangers qu'ils ont pu identifier.

Nous donnons ci-dessous la liste des principaux dangers. Un élève observateur pourra peut-être en découvrir d'autres.

Quelques-uns des principaux dangers représentés sur l'image

1. Encombrement susceptible d'amener les élèves à faire tomber du matériel de la table.
2. Acide renversé sur une table où il risque d'être essuyé par des vêtements.
3. Élève versant une solution d'une grosse bonbonne.
4. Bouteilles de gaz rangées à un endroit où elles peuvent tomber où être heurtées. Elles devraient être fixées en place.
5. Élève monté sur un tabouret pour attraper un objet lourd situé au-dessus de sa tête.
6. Bocal situé au bord d'un placard. Risque de chute.
7. Élève essayant d'enflammer avec une allumette le gaz produit par un appareil comportant un tube à entonnoir (si c'est de l'hydrogène qui est en train d'être préparé de cette manière, l'appareil contient un mélange explosif d'air et de gaz).
8. Tube à essai posé près du bord d'une table.
9. Aliments au milieu de produits chimiques dangereux.
10. Solvant inflammable (acétone) à proximité d'une flamme nue.
11. Mercure renversé sur une table.
12. Liquide aspiré avec une pipette à peine enfoncée dans le liquide.
13. Sur le mur, tableau dont un coin est détaché et pend près d'un brûleur qui risque de l'enflammer.
14. Appareil placé de telle sorte qu'il serait renversé par l'ouverture des portes du placard.
15. Appareil non soutenu.
16. Dangers en série: par exemple, chute d'un tabouret en entraînant un autre, etc.
17. Un élève ayant les mains mouillées branche une prise de courant. Remarquer également que la prise est à l'envers.
18. Tabourets et sacs obstruant le passage.
19. Cheveux longs non retenus. Risque d'incendie pour les filles.
20. Vêtements trop flottants.

Publié par la Royal Society for the Prevention of Accidents, Royal Oak Centre, Brighton Road, Purley, Surrey CR2 2UR, Royaume-Uni (Publication nº SE.39*b*).

Les moyens audio-visuels dans l'enseignement des sciences

Matériels réalisés par le maître

Le développement de la tendance qui veut que le maître devienne davantage le «serviteur de l'apprentissage» que celui qui enseigne des faits s'est accompagné d'une multiplication des équipements et des matériels sonores et visuels spécialement conçus pour l'aider dans sa tâche. Ce matériel est destiné à compléter les travaux pratiques et l'action du maître, et élargit donc les possibilités de présentation de la science. Ces équipements, matériels et techniques ont atteint un tel degré de perfectionnement que cette branche des techniques pédagogiques est maintenant désignée sous le terme générique de «technologie de l'éducation».

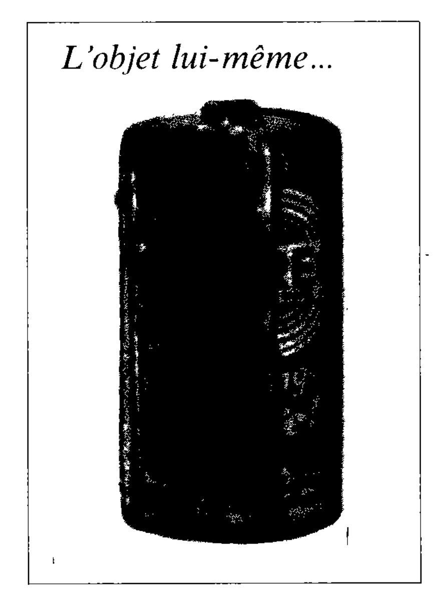
Celle-ci n'est pas seulement une technologie d'outillage se consacrant à la création d'équipements destinés à compléter ou suppléer l'action du maître. Elle recouvre tous les aspects des médias pédagogiques, parmi lesquels les moyens audio-visuels jouent un rôle dans l'environnement de l'apprentissage. Il n'a pas encore été véritablement possible de codifier l'emploi de ces moyens, mais il est important d'identifier ceux qui permettent aux enseignants d'obtenir les meilleurs résultats. Plus ils sont perfectionnés et plus leur bonne utilisation exige une formation spécialisée. Il est cependant probable que, dans certaines situations, le maître utilisant seulement le tableau de feutre peut être tout aussi efficace que celui qui dispose de la télévision. Il est également probable qu'il ne sert à rien d'utiliser la télévision quand on devrait utiliser le tableau de feutre.

La gamme des équipements disponibles va des réseaux complets de télévision scolaire pour toute une circonscription à l'utilisation des tableaux de feutre. Malheureusement, on met beaucoup plus l'accent sur les matériels les plus compliqués au détriment de techniques plus simples, et parfois plus efficaces, que le maître peut concevoir lui-même.

Les moyens audio-visuels représentent une méthode supplémentaire d'enseignement des sciences, un renforcement et un complément des expériences permises par les méthodes d'apprentissage pratique des sciences. Ces moyens doivent être choisis avec précaution; ils ne peuvent utilement remplacer l'expérience de la réalité qu'aux conditions suivantes: *a)* présenter exactement ce que désire le maître; *b)* être disponibles au moment nécessaire; *c)* être en bon état de fonctionnement.

Plus ce matériel est spécialisé et plus il est nécessaire de bénéficier d'une assistance supplémentaire sous forme, par exemple, de techni-

L'objet lui-même...



... est bien préférable à une simple description

«La pile électrique Leclanché est du type sec et on l'appelle pile sèche ou batterie sèche. La solution de chlorhydrate d'ammoniaque y a la forme d'une gelée entourant un mélange compressé de dioxyde de manganèse et de granules de carbone. L'électrode de carbone est disposée au centre de cette poudre et la gelée est contenue dans un revêtement extérieur en zinc. Celui-ci est à son tour protégé par une enveloppe de carton. Veuillez maintenant faire ce croquis...»

NOTA : La classe, après utilisation d'un certain nombre de piles usées, pourra procéder elle-même à la récupération des produits chimiques et des matériaux qu'elles contiennent.

ciens de l'électronique. Si l'infrastructure du pays concerné n'est pas à la hauteur du degré de perfectionnement du matériel, l'échec est inévitable.

Les enseignants peuvent faire beaucoup (et ils le font depuis des années) en empruntant à la science et à la technologie des moyens capables de faciliter l'apprentissage des élèves. Leur formation les aura généralement familiarisés avec l'utilisation du projecteur 16 mm muet ou sonore, de l'appareil de projection de diapositives, du rétroprojecteur et, peut-être, avec celle de la radio, du tourne-disques et de l'enregistreur de cassettes. Ces matériels sont maintenant facilement disponibles presque partout dans le monde.

Avec un peu de réflexion et d'habileté, l'enseignant pourra parfois obtenir de meilleurs résultats en fabriquant lui-même son propre matériel pédagogique. Nous indiquons ci-après un certain nombre de techniques de présentation simple.

Tableaux muraux. Il en existe une grande variété qu'il est possible de se procurer à bon compte ou gratuitement. En demander à des fournisseurs d'équipements scientifiques ou à des entreprises industrielles telles que les compagnies pétrolières, les compagnies de produits pharmaceutiques, les compagnies minières ou les sociétés d'ingénierie. Si l'enseignant possède un épidiascope, il pourra réaliser lui-même des tableaux muraux, affiches, etc., en recopiant des illustrations projetées sur de grandes feuilles de papier.

Modèles. Ils peuvent souvent être fabriqués par l'enseignant et ses élèves en particulier dans le cas de projets de travail en groupe. Les modèles de biologie peuvent être fabriqués avec du plâtre, du papier mâché (pâte épaisse composée d'eau, de farine et de morceaux de papier

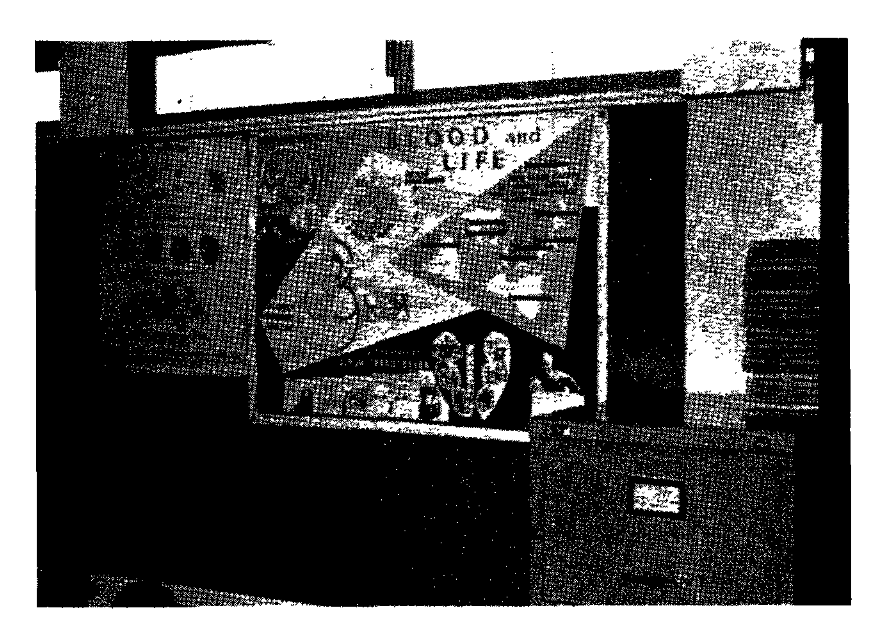


Figure 31
Exemple d'utilisation d'un tableau mural. Ce tableau pourrait être utilisé pour lier la biologie à la géographie dans le cadre d'une approche interdisciplinaire, car il fait référence à la répartition des groupes sanguins dans le monde. Il est important que les tableaux muraux fassent partie intégrante du programme d'apprentissage et ne soient pas seulement utilisés comme décoration.

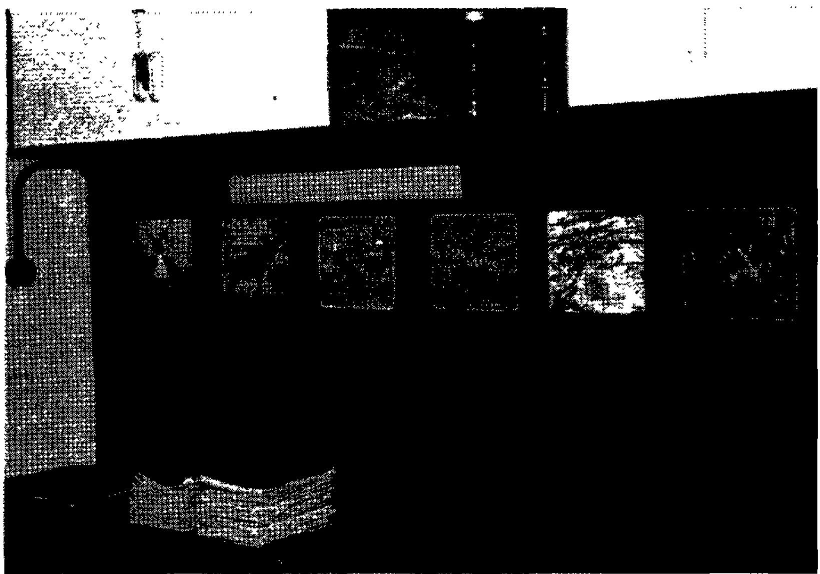


Figure 32
Une partie du local d'enseignement aménagée en coin de sciences sur des sujets relatifs aux animaux et aux oiseaux.

journal) ou de l'argile locale. Les squelettes sont également utiles, et pas seulement en biologie. La question des structures peut être traitée de manière beaucoup plus stimulante en présentant comme introduction un lapin vivant et en montrant ensuite un squelette de lapin (ou de mammifère de ce genre), puis des modèles de structures construits avec des matériaux d'origine locale.

Expositions. Les enfants de tous âges sont des collectionneurs. Il peut être très utile de réserver un coin à des expositions d'objets locaux collectionnés par les élèves. Ces expositions devraient se rapporter à des questions étudiées en classe et être programmées par le maître dans le cadre de son enseignement. Les discussions au sujet de ces spécimens peuvent parfois révéler de la part des enfants une pénétration insoupçonnée. Un enfant, par exemple, apporte un objet apparemment sans rapport avec le reste du matériel exposé. En discutant de ses raisons avec l'enfant, le maître peut ouvrir de nouvelles perspectives de recherche profitables à celui-ci.

Tableaux de feutre. C'est le nom donné à des techniques de présentation utilisant des tissus comme le feutre. Le maître peut, par exemple, épingler au mur une couverture ou un morceau de tissu pelucheux. Les objets à présenter sont découpés dans un tissu similaire (ou fait en polystyrène expansé) et qui adhèrent au tableau par simple pression. (Il est possible d'utiliser le polystyrène d'emballages ayant contenu des livres ou du matériel.) Cette technique est particulièrement utile pour illustrer une séquence d'événements, en utilisant des matériaux de

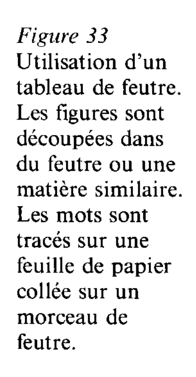




Figure 33
Utilisation d'un tableau de feutre. Les figures sont découpées dans du feutre ou une matière similaire. Les mots sont tracés sur une feuille de papier collée sur un morceau de feutre.

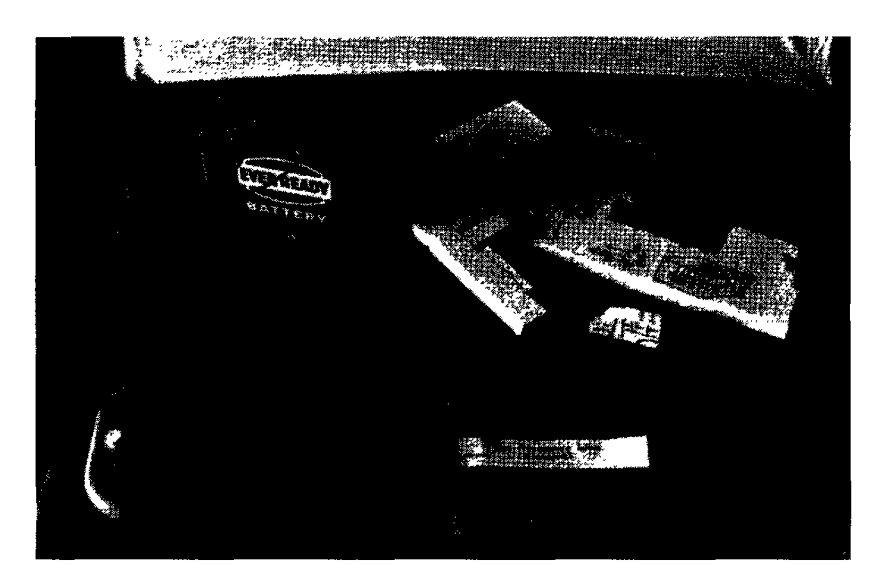


Figure 34
Appareil simple de découpage du polystyrène. Si l'on fabrique un outil de ce genre, veiller à régler la longueur du fil de nichrome de telle sorte qu'il ne chauffe pas au rouge.

couleurs différentes pour signaler les points particulièrement importants.

Le polystyrène expansé peut être découpé dans des formes très variées au moyen d'un outil à fil chauffant (fig. 34). Un outil similaire peut être réalisé au moyen d'une petite longueur de fil de nichrome (5 à 6 cm de fil de 0,30 mm de diamètre environ) monté dans un cadre de bois et relié à une pile de 4,5 volts.

Tableaux magnétiques. De petits aimants peuvent être fixés au dos de modèles, diagrammes, etc., permettant de les présenter sur un tableau constitué par une feuille d'acier. La paroi d'un placard métallique peut également convenir à cet effet. Cette technique est également utilisée pour présenter des séquences évolutives. (On peut fabriquer de petits aimants avec des morceaux de vieilles lames de scie à métaux placés à l'intérieur d'un bobinage de 10 à 15 tours de gros fil de cuivre que l'on relie aux deux pôles d'un accumulateur pendant quelques secondes. Ne pas tenir à la main les extrémités du fil pour éviter de vous brûler les doigts. Il est possible d'utiliser une batterie d'automobile, mais attention aux étincelles brûlantes.) Il est également possible de récupérer des aimants dans de vieux compteurs de vitesse d'automobile, des compteurs d'électricité ou des dynamos de bicyclettes hors d'usage.

Nous venons d'indiquer quelques-unes des techniques à la disposition de l'enseignant. Si, en outre, l'école possède un duplicateur à alcool, il

est également possible d'envisager de distribuer aux élèves des fiches et des cartes de travail. Ne pas oublier que ces fiches doivent poser les questions, et non y répondre.

Matériel spécialisé et degrés de sophistication

Nous avons déjà mentionné le projecteur cinématographique, le rétroprojecteur et le projecteur de diapositives, ainsi que la radio, le tourne-disques et l'enregistreur de cassettes. Il est utile d'être également au courant de certaines autres techniques utilisées dans les situations d'apprentissage, qui entrent dans le cadre très étendu de la technologie de l'éducation. L'utilisation comme moyen d'éducation de masse des techniques hautement évoluées de l'informatique et de la télévision est encore très expérimentale.

Nous indiquons ci-après un certain nombre de ces moyens pédagogiques sophistiqués.

Télévision. Son utilisation va du maître possédant caméra, récepteur et magnétoscope lui permettant de réaliser lui-même des programmes simples, à la distribution d'appareils destinés à une utilisation communautaire dans les villages dans le cadre de programmes d'alphabétisation transmis par satellite (Inde). Les réseaux de télévision en circuit fermé et la transmission de programmes scolaires par des réseaux commerciaux sont d'utilisation courante dans certains pays.

Radio. Les programmes de radio scolaire existent depuis longtemps dans de nombreux pays. Des combinaisons radio/livres sont également très utilisées. L'association d'un programme de radio avec la projection de diapositives en est une variante.

Combinés radio-cassettes. Un appareil de radio à enregistreur de cassettes incorporé permet à l'enseignant d'enregistrer des émissions qu'il inclut ensuite dans son programme au moment approprié. Il peut également enregistrer des excursions sur le terrain en vue de discussions ultérieures.

Projecteurs cinématographiques et films. La plupart des films éducatifs sont réalisés en 16 mm et leur variété est presque infinie. Parmi les sources où il est possible de s'en procurer, nous citerons les ambassades et les hauts-commissariats, les agences d'aide internationale et bilatérale comme l'Unesco, la Ford Foundation, le Service d'information des Nations Unies et le British Council, les sociétés multinationales industrielles et commerciales, les ministères de l'éducation et de l'information et les universités.

Projecteurs 8 mm et super 8. Leur utilisation se développe. L'enseignant disposant de la caméra et du projecteur appropriés peut réaliser ses propres films. Ces formats ont également été utilisés pour la réalisation d'une grande variété de films en boucles (films sans fin) sur des questions scientifiques particulières. Ces films exigent des projecteurs spéciaux pour films en boucle. Le super 8 remplace progressivement le 8 mm standard.

On ne saurait trop insister sur l'utilisation du film dans l'enseignement, car c'est sans doute l'auxiliaire visuel le plus utile pour présenter aux élèves des illustrations empruntées à la science et à la technologie de toutes les parties du monde. Il est cependant permis de s'interroger sur la manière dont il est utilisé. Le film qui provoque la réflexion et incite à l'action est grandement préférable à celui que l'on regarde passivement pour l'oublier ensuite.

Projecteurs de diapositives 35 mm. Peut-être le plus utilisé. Il existe dans le commerce une grande variété de diapositives. De plus, l'enseignant disposant d'un appareil de photographie et ayant la possibilité de se procurer les pellicules noir et blanc ou couleur nécessaires peut produire lui-même ses diapositives. Des projections de diapositives accompagnées de bandes sonores peuvent être particulièrement efficaces.

Rétroprojecteur. Peut-être en cours de devenir le substitut le plus répandu du tableau noir lorsque l'école possède l'électricité. Son principal avantage est de permettre au maître de conserver pleinement le contrôle du matériel préparé et de le modifier instantanément pour tenir compte des réactions des élèves grâce à la présentation face à face. L'enseignant a besoin d'acquérir une technique appropriée pour l'utiliser au mieux, ce qui est vrai d'ailleurs de tous les autres moyens pédagogiques.

Epidiascope. Actuellement assez peu employé, il a cependant son utilité pour la présentation de matériels imprimés opaques. La facilité de reproduction des matériels imprimés par photocopie a tendu à le faire remplacer par le rétroprojecteur. Utile pour réaliser des graphiques, croquis, etc., de grande dimension à partir de livres et autres matériels imprimés.

Appareils d'enseignement programmé. L'engouement initial pour l'enseignement programmé a donné naissance à de nombreux matériels visuels et imprimés d'auto-instruction, ainsi qu'à des appareils variés. Les techniques de «programmation» utilisent presque toutes les formes de matériels audio-visuels. Les machines ont beaucoup évolué et

l'enseignant qui désire spécifiquement utiliser des appareils d'enseignement programmé devrait d'abord étudier de manière approfondie les diverses méthodes. Beaucoup de programmes sont malheureusement de qualité médiocre.

Ordinateurs. Les programmes d'apprentissage, les techniques d'enseignement et la création de matériels visuels font l'objet d'études par ordinateur.

L'extrait suivant de *New trends in the utilization of educational technology for science education* (Paris, Unesco, 1974, p. 242–245), constitue peut-être la meilleure récapitulation des problèmes de technologie de l'éducation dans les pays en développement et pourrait servir de conclusion à ce chapitre:

«L'analyse de l'utilisation de la technologie de l'éducation dans l'enseignement des sciences fait la distinction entre l'éducation et l'acquisition passive de l'information.

»Le rôle assigné à la technologie de l'éducation dans l'enseignement scientifique est de permettre un apprentissage actif et un enseignement personnalisé, pour tenir compte des différents modes et rythmes d'apprentissage et de la variété des intérêts, qui appellent l'élaboration de programmes sur mesures. C'est là un objectif à peine effleuré par les grands courants de la technologie de l'éducation, qui est souvent conçue comme une technique à grande échelle de remplacement du cours magistral.

»Étant donné que la plupart des écoles des pays en développement sont dépourvues même du plus sommaire projecteur de diapositives, il conviendrait de donner priorité non à des aides pédagogiques mais à la fourniture d'équipements de laboratoire et autres matériels peu coûteux à l'usage des élèves.

»Les pays en développement devraient consacrer plus d'efforts à la conception de jeux d'unités mixtes combinant l'utilisation de matériels imprimés, de petits films, de diapositives et de nécessaires de laboratoire à bas prix.»

Annexe. Pays et régions en développement où ont été créées des unités de réalisation et de production d'équipements scientifiques scolaires à bon marché.

Afrique: Kenya, Madagascar et Nigéria.

Asie (en plus du Centre régional de Penang): Afghanistan, Birmanie, Inde, Indonésie, Kampuchéa démocratique, Malaisie, Népal, Pakistan, Papouasie - Nouvelle-Guinée, Philippines, République de Corée, République démocratique populaire lao, République socialiste du Viet Nam, Singapour, Sri Lanka, Thaïlande.

Amérique latine: Brésil, Costa Rica.

Autres: Israël, Turquie.

De nombreux pays possèdent des plans plus ou moins avancés de création d'unités de production de matériel. Il existe également d'autres unités locales, souvent dans le cadre d'établissements de formation d'enseignants ou d'universités.

Bibliographie annotée

ASSOCIATION FOR SCIENCE EDUCATION. *The teaching of science in secondary schools* 3e éd. London, J. Murray, 1970. 245 p.
Publication de l'Association for Science Education (ASE) relative à l'enseignement des sciences au Royaume-Uni.

BOWKER, M. K.; HUNT, A. R. D. *Making elementary science apparatus; a handbook for teachers in tropical areas.* London, Nelson, 1968, 65 p.
Un livre d'idées pour la construction d'appareils scientifiques simples à partir de matériaux locaux.

DE VRIES, L. *The book of experiments.* London, J. Murray, 1958. 123 p.
. *The 2nd book of experiments.* London, J. Murray, 1963. 109 p.
. *The 3rd book of experiments.* London, J. Murray, 1965. 104 p.

EL-JACK, K. *The design of science laboratories in secondary schools in Africa.* Khartoum, Regional Building Institute for Africa, 1971.
Guide spécialement consacré aux laboratoires de sciences en Afrique. Pour cette publication de l'Unesco, se mettre en rapport avec le Bureau régional pour l'éducation, Dakar, Sénégal.

EVERETT, K.; JENKINS, E. W. *A safety handbook for science teachers.* London, J. Murray, 1973. 85 p.
Manuel indiquant les domaines dans lesquels peuvent se produire des accidents et comment il est possible d'en réduire les risques.

GASTON, P. J. *Care, handling and disposal of dangerous chemicals.* Aberdeen, Northern Publishers Ltd, for the Institute of Technology, 1970. 110 p.
Un manuel utile consacré aux produits chimiques dangereux, pour tous les niveaux mais particulièrement pour les laboratoires du second cycle du secondaire ou universitaires.

GUY, K. *Laboratory organisation and administration*, 2e éd. London, Butterworth & Co., 1973. 527 p.
Bien que spécialement consacré aux laboratoires universitaires, ce livre contient des informations utiles pour les enseignants.

Henley's twentieth century book of formulas, processes and trade secrets. O'Conor Sloane, New York, N.Y., Books Inc., 1970. 867 p.
Édition revue et augmentée d'un livre publié pour la première fois en 1907 et plusieurs fois révisé. Contient une abondance de recettes et techniques oubliées depuis longtemps sur une variété de sujets.

How things work; the universal encyclopedia of machines. Traduction et adaptation de C. van Amerongen. Éd. rév. London, Paladin Press, 1972. 590 p.
Initialement publié en allemand et traduit pour les lecteurs anglais et américains. Explique au profane comment fonctionnent les choses. Peut être utile à l'enseignant désireux d'introduire la technologie dans son enseignement scientifique.

HUSBANDS, W. H.; TOMAS, R. W. *Handbook for school chemistry laboratory technicians.* Oxford, Pergamon Press, 1972. 103 p.
Manuel d'information gnérale à l'usage du personnel des laboratoires scolaires de chimie.

LEWIS, J. L. *Teaching school physics.* Paris, Unesco; London, Penguin Books Ltd, 1972. 416 p.
Ouvrage de base de l'Unesco sur l'enseignement de la physique présentant une réflexion et une orientation très complètes.

MARYLAND, UNIVERSITY OF. *Guidebook to constructing inexpensive science teaching equipment.* College Park, Md., Science Teaching Center, University of Maryland, 1972. 893 p.
Trois volumes séparés pour la biologie, la chimie et la physique, consacrés à l'improvisation et la construction d'appareillages scientifiques montrant les détails de construction et indiquant les matériaux nécessaires.

MIALARET, G., *Psychopédagogie des moyens audio-visuels dans l'enseignement du premier degré.* Paris, Unesco, 1964. 232 p. (Monographies sur l'éducation, 5.)

NIGERIA, FEDERAL MINISTRY OF EDUCATION. *Guidelines for UPE Primary Schools Programme.* 1975. 24 p.
Directives du Mnistère fédéral de l'éducation aux ministres de l'éducation des États relatives aux exigences auxquelles devraient satisfaire les écoles primaires dans le cadre du Programme d'éducation primaire généralisée.

NOVAK, J. *Facilities for secondary school science teaching.* Washington, D.C., National Science Teachers Association, 1972. 173 p.
Expose les tendances relatives à la conception et à l'équipement des écoles secondaires américaines. Se mettre en rapport avec la NSTA Washington ou le bureau local de l'USIS.

RAW, I. Educational technology applied to the learning of science in developing countries. *New trends in the utilization of educational technology for science education*, p. 242-245. Paris, Unesco, 1974.

ROWNTREE, D. *Educational technology in curriculum development.* London, Harper & Row, 1974. 197 p.

SCHOOLS COUNCIL. *Patterns. Technicians' manuals.* London, Longman, 1974–1975. 380 p.
Série de manuels pour techniciens des systèmes du Schools Council Integrated Science Project, complétant les guides du maître et les manuels de l'élève. Ces livres sont destinés à être utilisés en même temps que les autres manuels mais constituent en eux-mêmes une source importante d'informations utiles.

STEPAN. *Storage of apparatus.* London, J. Murray.
Petit livre publié par l'Association for Science Education sur le rangement et l'entretien du matériel scientifique.

SWEZEY, K. M. *Science magic.* London, Kaye & Ward, 1971. 90 p.

——. *More science magic.* London, Kaye & Ward, 1971. 90 p.
Initialement publiés par McGraw Hill, pourraient être définis comme des livres d'idées sur la manière de présenter les questions scientifiques. Utilise des techniques et des appareillages faisant appel aux ressources du bricolage.

UNESCO. *Nouveau manuel de l'Unesco pour l'enseignement des sciences.* Paris, 1974. 299 p.
Nouvelle version révisée du manuel bien connu, qui apporte à l'enseignant une foule d'informations.

UNICEF. *Using science apparatus: a guide for teachers.* New York, N.Y., 1974. 230 p.
Guide pour l'utilisation et l'improvisation d'appareils scientifiques. Va de pair avec la liste d'équipement scientifique «EVE» de l'Unicef.

ROYAUME-UNI, DEPARTMENT OF EDUCATION AND SCIENCE. *Designing for science.* London, 1967. 98 p. (Building bulletin 39.)
Présentation de l'Oxford Schools Project. S'adresse davantage à l'architecte scolaire, mais également intéressant pour l'enseignant.

——. *Open plan primary schools.* London, 1972. 20 p. (Education Survey 16.)
Résultats d'une enquête faite auprès de 53 écoles primaires indiquant les tendances quant aux besoins scolaires en matière d'enseignement et d'équipement. Se mettre en rapport avec Her Majesty's Stationery Office (HMSO), Londres, ou avec la bibliothèque locale du British Council.

VICKERY, D. J. *School building design, Asia.* Colombo (Sri Lanka), Asian Regional Institute for School Building Research (Unesco), 1972. 304 p.
Contient des directives et une information de base sur la conception des bâtiments scolaires en Asie.

WARREN, K.; LOWE, N. K. *The production of school science equipment.* London, Commonwealth Secretariat, 1975. 67 p.
Exposé de la situation dans le domaine de la production d'équipements scientifiques scolaires.

WITTICH, W. A.; SCHULLER, C. E. *Audio-visual materials: their nature and use.* New York, N.Y., Harper & Row, 1953. 564 p.
Guide ancien mais encore valable de l'utilisation des moyens audio-visuels.

Annexe

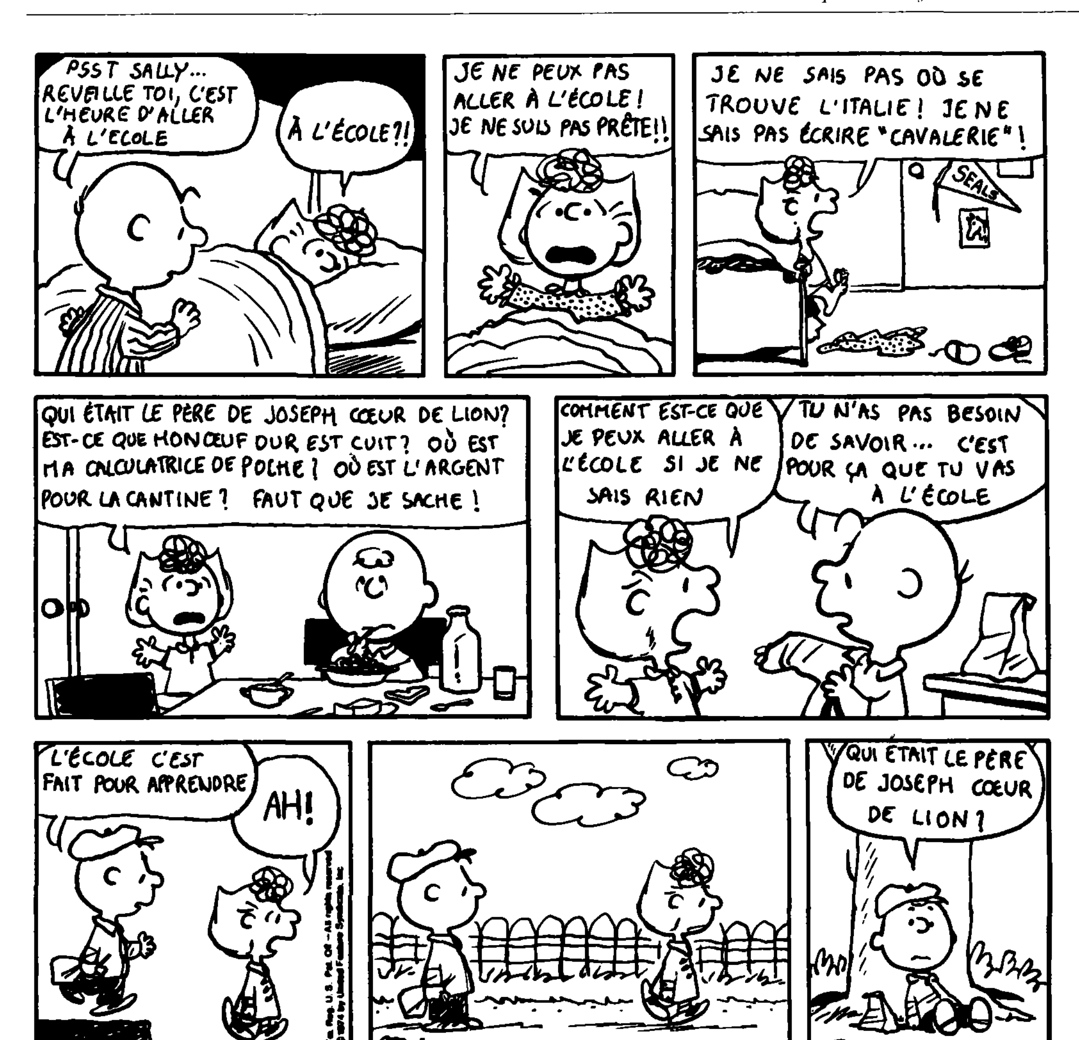
Questions à débattre

L'enseignement est une activité humaine et, à ce titre, il implique des jugements de valeur. Nous croyons pour notre part que chaque enseignant doit trouver par lui-même ses propres valeurs. Aussi nous efforcerons-nous de ne pas donner de réponses préétablies aux questions soulevées ici. Nous voulons plutôt aider l'enseignant à réfléchir à certains problèmes et à les rapprocher de sa propre situation, tout en soumettant ses valeurs à un examen critique approfondi. Nos propres valeurs, fondées sur l'expérience personnelle, filtreront parfois à travers nos propos, mais nous ne le regrettons pas si cela peut stimuler la discussion.

Nous espérons donc que la lecture de la présente annexe incitera les enseignants à se documenter davantage et à discuter en petits groupes des problèmes abordés. Un certain nombre de tâches pratiques sont proposées pour encourager la discussion. Nous ne nous attendons pas qu'un consensus soit atteint pour chacune d'entre elles ; le désaccord est une bonne chose dans la mesure où il peut susciter une réflexion plus poussée.

Les débats théoriques risquent cependant de ne pas être d'un grand secours quand l'enseignant se trouve confronté à la réalité de l'école et de la salle de classe, où les personnes et les problèmes sont rien moins qu'abstraits. Pour lui permettre de mieux faire le lien entre les thèmes traités dans cette annexe et la réalité pratique, nous avons inclus un certain nombre d'études de cas. Toutes s'inspirent de faits réels; beaucoup les relatant tels qu'ils se sont produits, les enseignants y reconnaîtront sans doute des situations familières.

1. Voir les références en fin d'annexe.



Pourquoi les enfants doivent-ils apprendre?

La bande dessinée ci-dessus illustre deux propositions énoncées par Eggleston:

Le savoir vaut mieux que l'ignorance;

La faculté d'acquérir un savoir (par la mise en œuvre de l'esprit de recherche) vaut mieux que le savoir en soi [1] [1].

Les deux enfants de la bande dessinée admettent la première proposition, mais là s'arrête la prise de conscience du petit garçon, Charlie

Brown, puisqu'il croit qu'il suffit d'aller à l'école pour que le savoir lui soit donné. Il semble qu'à l'école de Sally, on pense qu'elle doit *acquérir* son savoir, bien que le dessin ne rende pas cette idée de «l'émerveillement et du plaisir» de la recherche, dont parle Eric Rogers. Eggleston souligne que ces propositions impliquent que l'éducation a pour buts l'acquisition d'un savoir et le développement de certaines compétences intellectuelles, mais, comme nous l'avons vu dans le premier chapitre, la pensée des pédagogues, du moins depuis la fin des années soixante, a assigné à l'éducation des buts autrement plus larges que les objectifs intellectuels.

Dans cette première section, nous inviterons le professeur de sciences à se demander pourquoi nous enseignons à Sally, puis nous passerons du général au spécifique et nous nous demanderons dans la section suivante pourquoi nous enseignons à Sally les *sciences.*

Éduquer pour répondre aux besoins nationaux de main-d'œuvre

Un professeur pourra estimer important de préparer les jeunes à répondre aux besoins de son pays en chercheurs et technologues. Si tel est le cas, il tentera d'orienter ses élèves vers ces professions et de les y préparer le mieux possible. Il évitera de leur bourrer la tête de connaissances dans le seul but d'accumuler des diplômes dans la mesure où ce genre d'activité stérile sclérose l'imagination, l'ingéniosité et la créativité, toutes qualités essentielles pour le développement de la technologie d'un pays.

Étude de cas: Pour de meilleurs et de plus nombreux technologues

Un homme d'État appelle son pays à former plus de médecins, dentistes, ingénieurs et agronomes. Le Ministère de l'éducation élabore donc des plans pour améliorer l'enseignement des sciences dans les écoles. L'Association des professeurs de sciences demande à l'Institut d'ingénierie de définir les qualités qui font un bon ingénieur et obtient la liste suivante: «créativité, ingéniosité, esprit d'initiative, savoir-faire technique et économique constamment à jour, sens réel de la rentabilité, discernement, intégrité, grande conscience professionnelle, aptitude à planifier, organiser, former, coordonner et communiquer, faculté d'obtenir que les choses soient faites». L'association décide d'intégrer certaines de ces qualités aux buts de son enseignement.

Tâches

1. *Lire l'étude de cas «Pour de meilleurs et de plus nombreux technologues». Étudiez la liste établie par l'Institut d'ingénierie et modifiez-la si vous le désirez.*
2. *Dressez une liste analogue des qualités requises d'un bon médecin; d'un bon expert agronome.*
3. *Dans ces listes, choisissez les qualités qui devraient être intégrées aux buts définis par les professeurs de sciences?*

Dans la tâche 3, vous avez désigné les qualités qu'un bon enseignement pourrait contribuer à développer chez l'enfant. Nous reviendrons par la suite sur ces qualités encore un peu vagues lorsque nous aborderons le problème des buts et des objectifs. Mais dans toute classe il y a un bambin qui a des facilités, et que son père rêve de voir devenir médecin, alors qu'il n'est peut-être pas fait pour ce type de carrière. Outre les autres responsabilités qui incombent au professeur, il lui appartiendra donc d'apprendre à connaître assez l'enfant pour pouvoir le conseiller. Dans le chapitre 3, nous avons examiné diverses activités où l'observation du comportement des enfants permet à l'enseignant de mener à bien cette tâche.

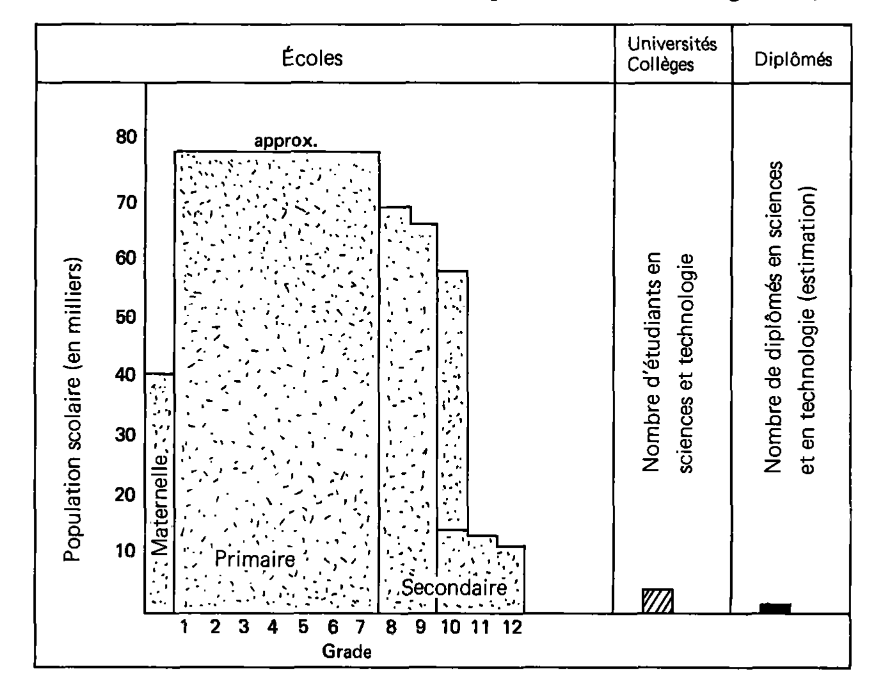
Étude de cas: l'éducation permanente

M. Singh, professeur de quarante-cinq ans, a été ingénieur jusqu'au jour où sa firme l'a congédié parce que ses connaissances et sa compétence ne répondaient plus à l'actualité. Prenant la parole lors d'une réunion de l'Association des professeurs de sciences, il met en garde ses collègues contre les erreurs commises auparavant par ses propres professeurs. Quand il a obtenu son diplôme, il a pensé qu'il avait réussi et que son instruction était terminée. Or il n'avait ni la préparation ni le jugement nécessaires pour continuer à s'instruire après avoir quitté ses professeurs. (Sa femme a les mêmes problèmes que lui face à un four solaire ou à une alimentation à base de soja.) M. Singh affirme que les connaissances d'hier (ou même celles d'aujourd'hui) conviendront au technologue de demain. Il insiste sur le fait que les jeunes doivent s'habituer à apprendre plus par eux-mêmes qu'à l'école. Il leur faudra en effet continuer à vivre une soixantaine d'années après la fin de leur éducation scolaire, et ils auront nécessairement à faire face à de nombreux changements. En tant que professeur, M. Singh a été amené à prendre connaissance de certaines techniques pour «apprendre à apprendre», fondées sur l'esprit de recherche. Il ne sait pas encore très bien comment les intégrer à son enseignement, mais il est convaincu qu'elles sont d'une grande importance si les professeurs veulent accoutumer leurs élèves au changement.

Tâches

1. *Dans l'étude de cas «L'éducation permanente», M. Singh a été obligé de se recycler. Quelles techniques les professeurs de M. Singh auraient-ils pu adopter pour l'aider à apprendre par lui-même et à affronter avec confiance la nouveauté et l'imprévu?*
2. *Avez-vous fait l'expérience de certaines de ces techniques au cours de vos études? Si oui, dites lesquelles. Avez-vous le sentiment que vos professeurs ont commis les mêmes erreurs que ceux de M. Singh?*
3. *(Auto-évaluation) Vous êtes-vous jamais demandé si le contenu de ce que vous avez appris étant enfant répondait encore aux besoins des enfants auxquels vous enseignez maintenant? Si oui, donnez des exemples.*
4. *Reportez-vous à l'exercice 4.53 du* Nouveau manuel de l'Unesco. *En quoi cette activité pourrait-elle aider à développer chez les enfants les qualités des technologues de demain?*

Il y a toutefois des dangers à assigner comme but principal à l'enseignement la satisfaction des besoins nationaux en main-d'œuvre. Dans la plupart des pays, en effet, moins de 5% de la population scolaire est appelée à faire carrière dans les sciences ou la technologie. Il est donc difficile de croire que les ressources humaines et les moyens financiers considérables mis en œuvre pour l'éducation en général, et



Comparaison des effectifs de la population scolaire avec le nombre d'étudiants et de diplômés en sciences/ technologie. Danemark 1973.

l'enseignement des sciences en particulier, n'ont d'autre objet que de former des médecins, des ingénieurs et des agronomes. Le graphique ci-contre, établi d'après des données concernant le Danemark [2] compare l'effectif important de la population scolaire (presque 800 000 enfants) au petit nombre de scientifiques et de technologues diplômés chaque année (environ un millier). On a là un rapport d'à peu près 800 pour 1. Il est évident qu'on ne scolarise pas 800 enfants par an uniquement dans le but de former un scientifique ou technologue. Si tel était le cas, chaque diplômé danois en sciences ou en technologie coûterait à l'État environ deux millions de dollars!

Tâches

1. *Procurez-vous les statistiques appropriées auprès de l'Institut national des statistiques, du Ministère de l'éducation ou d'une bibliothèque municipale, par exemple, et établissez un diagramme analogue pour votre pays.*
2. *Voici quelques chiffres concernant Trinité-et-Tobago:*

   Budget de l'éducation (1976): 85,5 millions de dollars
   Nombre de diplômés en sciences et en technologie (nationaux) pénétrant sur le marché du travail au sortir de l'université (1975): 140
   Rapport du budget de l'éducation au nombre de diplômés en sciences et en technologie (approx.): 0,6 million de dollars par diplômé

   Déterminez les données correspondantes pour votre propre pays. Pensez-vous que l'État dépenserait autant d'argent si son but essentiel était de former ce type de diplômés?

On pourra objecter que nous avons omis le nombre beaucoup plus important d'infirmières, de techniciens et d'agriculteurs formés dans des établissements non universitaires. Mais les écoles secondaires ne classent-elles pas, en général, ceux qui suivent cette filière au nombre des échecs?

Nombreux sont ceux qui estiment que l'enseignement dispensé dans les écoles ne devrait pas avoir pour finalité la formation professionnelle. Figueroa est l'un d'eux: «Toute éducation qui vise essentiellement à former un certain type et une certaine quantité de main-d'œuvre n'est pas une éducation digne de ce nom ... Éduquer pour former des spécialistes et non des hommes est un choix qui ne peut qu'engendrer la frustration, voire la révolte, car c'est susciter chez l'individu un espoir de prestige social et de sécurité matérielle qui sera finalement déçu [3].»

Figueroa souligne également que même si les écoles se fixent l'objectif limité de former un certain type de main-d'œuvre, elles ont de grandes chances de rester inefficaces. Il doute que l'école puisse contribuer de manière directe et déterminante au développement économique d'un pays. Qu'en pensez-vous?

Éduquer pour la société

Préparer les enseignants à leur rôle pédagogique, c'est essentiellement leur donner les moyens de former des enfants capables de tenir leur place dans la société. Il existe une abondante littérature sur les connaissances, les capacités et les attitudes qu'il convient de développer chez l'enfant pour lui permettre, une fois adulte, de jouer un rôle actif au sein de la société; aussi ne saurions-nous trop conseiller aux enseignants de se documenter le plus largement possible sur ce thème. En attendant, nous soumettons à leur réflexion l'étude de cas «Apprendre à vivre».

Étude de cas: apprendre à vivre

Tandis que notre association fictive de professeurs de sciences poursuit ses débats, ses membres prennent conscience qu'une problématique nouvelle se dessine. Ils ont commencé par envisager la question des besoins nationaux en main-d'œuvre, ce qui les a amenés à reconnaître la nécessité d'insister sur les éléments suivants: mise à jour des connaissances, «apprendre à apprendre», imagination, créativité, aptitude à résoudre les problèmes, système de valeurs cohérent, etc. Mais il leur est finalement apparu qu'il s'agissait là de qualités valables pour tous les citoyens. Ils comprennent maintenant que l'enseignement des sciences est une composante de la formation générale.

Au cours d'une conférence sous-régionale sur l'élaboration des programmes qui se déroula à Fidji en 1971, les participants venus de quelque quatorze pays ont défini un ensemble de composantes de l'enseignement général qui pourraient être appelés des objectifs éducatifs [4]. L'enseignement des sciences peut contribuer à la réalisation de tous ces objectifs comme nous le montre l'article ci-après sur les plantes médicinales, extrait de la revue d'une association de professeurs de sciences [5].

Composantes éventuelles de l'enseignement général dans le Pacifique

Capacité de décision	Aptitude à évaluer et à trier les données, et à parvenir à un jugement personnel valable et honnête.
Recherche de la vérité	Respecter et croire le témoignage des faits ou les preuves provenant de sources fiables.
Compétences pratiques	Faculté de se servir des outils et des machines communément utilisés dans la société.
Communication	Aptitude à transmettre à autrui oralement, par écrit, graphiquement ou selon tout autre mode de communication, des informations, opinions et conclusions.

Adaptation au changement	Avoir conscience que les connaissances, la société et les valeurs sociales évoluent, et être capable soi-même d'évoluer pour se maintenir en harmonie avec l'environnement.
Sens esthétique	Être sensible à la beauté dans la nature, les arts et les rapports humains.

Lors de la session finale, une composante supplémentaire a été suggérée: la dimension humaine, ce qui implique l'étude de soi et des rapports sociaux ainsi que la faculté de se rendre socialement utile.

Les plantes médicinales comme sujet de biologie humaine et sociale

«Peu de temps après avoir pris contact avec ma nouvelle classe de troisième, je me suis rendu compte que la plupart des approches traditionnelles de ce que je considérais auparavant comme des sujets 'ordinaires' ne m'étaient pas d'un grand secours pour éveiller l'intérêt de mes jeunes filles, encore moins pour les inciter à s'attaquer à un travail qui, de fait, s'avérait difficile pour elles. Je m'étais fixé pour tâche de traiter le problème de la nutrition en un mois, et au terme de cette période j'eus le sentiment d'en avoir appris plus qu'elles!

»Je présentai initialement le sujet de manière à faire comprendre aux élèves que la connaissance de la nature des aliments, de leurs propriétés et de leur utilité pouvait avoir des conséquences immédiates sur notre santé, si nous appliquions les principes fondamentaux de la nutrition à notre vie quotidienne. J'expliquai que, même si bien des gens avaient en général conscience de ce lien, l'ignorance engendrait encore de nombreuses pratiques qui causaient des pertes de temps et d'énergie, et qui compromettaient la santé. En guise d'illustration, nous avons examiné certaines pratiques courantes en matière de puériculture. La viande donne-t-elle des vers aux bébés? Au cours de la discussion, une élève affirma: 'Mademoiselle, les feuilles de corossol aident le bébé à s'endormir'. Quand Mademoiselle demanda: 'C'est vrai?', la classe, presque d'une seule voix, s'écria: 'Mais oui!' Il n'en fallut pas plus pour lancer l'idée de la collecte des plantes médicinales. Jamais je n'aurais imaginé qu'il serait si facile de partir d'un article sur les plantes médicinales et la tradition populaire, paru dans le Jamaica Journal.

»La classe se réveilla immédiatement, car c'était là un sujet sur lequel les élèves se sentaient sûres d'elles et elles allaient pouvoir en remontrer un peu à Mademoiselle. Et c'est bien ce qui se passa! Comment faire taire les cris d'enthousiasme qui fusent à travers toute la classe, quand, pendant des semaines, on a déploré le manque de participation des élèves et leur inattention? 'Mademoiselle, la sauge noire est bonne pour la fièvre et les

rhumes.' 'Le cerio est bon pour les bains d'yeux', 'L'herbe au charpentier est indiquée pour les douleurs d'estomac', 'Le balra dou est un bon rafraîchissant', 'Le cresson sauvage est diurétique'. Ne voulant pas être de reste, j'ajoutai: 'Le chandelay est bon pour la grippe et le rhume, et la décoction de feuilles de goyave est bonne contre la diarrhée'. Il y eut un grand silence. 'Mademoiselle, comment savez-vous cela?' me demanda-t-on. 'Qu'est-ce que vous croyez? Moi aussi, j'ai une grand-mère!' Après ma réponse, ce fut du délire dans la classe. Je pense que, jusque-là, mes élèves ne croyaient pas que nous puissions avoir grand-chose en commun.

»Mettant à profit cette pause, j'ai lancé une discussion sur l'histoire de certains remèdes que les docteurs prescrivent de nos jours, évoquant les modes de préparation rudimentaires ou élaborés, les dosages, les effets secondaires et le lien entre certaines indispositions et le régime alimentaire. Nous eûmes vite fait de mettre sur pied notre projet de collecte d'herbes, la classe se répartissant en groupes de travail de six élèves. Cela favorisa la coopération au sein de la classe et les élèves mirent leur famille à contribution car chacune voulait avoir la plus grande collection de plantes. La collecte des spécimens, le séchage et le collage dans les herbiers furent de bons travaux pratiques. L'une des élèves bavarda avec toutes les vieilles femmes du voisinage et rapporta quarante-cinq échantillons de plantes. Comment orthographier les noms des plantes? Phonétiquement, bien sûr! Toute autre solution aurait transformé le projet en pensum.»

Tâche

Après avoir lu cet article, relisez la liste d'objectifs du Pacifique et désignez ceux que le Projet plantes médicinales contribuait à atteindre.

Les déclarations générales concernant les objectifs doivent être précisées et «personnalisées» en fonction des différents pays auxquels elles s'appliquent. Chaque pays a ses caractéristiques et ses besoins propres et, quand il s'agit de traduire les idéaux dans la pratique, il est utile de pouvoir disposer d'un ensemble de principes directeurs définis par les artisans de la politique nationale. Lorsqu'une telle déclaration existe pour son pays, le professeur a le devoir de l'étudier très soigneusement. Un examen attentif et une réflexion approfondie devraient lui permettre de voir que l'enseignement des sciences offre des occasions particulièrement propices à la réalisation de ces objectifs.

Tâche

Étudiez les objectifs de l'éducation définis par votre pays. S'ils n'ont pas fait l'objet d'une déclaration officielle, reprenez les objectifs de la Guyane. Quelles sont les rubriques que vous appréciez plus particulièrement? Quelles sont celles qui, selon vous, devraient être modifiées dans le contexte de votre pays?

Finalités de l'éducation en Guyane

Cette liste a été rédigée par M. Patrick Dyer à partir de divers documents officiels parmi lesquels les «livres blancs» réalisés à la demande du gouvernement.

La Guyane se propose de rendre la société plus humaine par le biais de l'éducation. Elle espère parvenir à ce but en suscitant de nouvelles attitudes chez les parents, les enfants et les autres membres de la société.

Le gouvernement est d'avis que l'expérience scolaire devrait avoir pour objet de développer chez l'élève un savoir et des compétences spécifiques, une conscience lucide et un comportement sain. Notamment:

I. Savoir et compétences

a. Aptitude, pour chacun, à découvrir et développer ses propres sujets d'intérêt, ses capacités et ses dons, c'est-à-dire à prendre conscience que l'éducation peut être un processus permanent et personnel;

b. Aptitude à communiquer, c'est-à-dire à exprimer, recevoir et analyser des idées, à comprendre le langage parlé et écrit;

c. Cela devrait inclure la capacité de parler, comprendre, lire et écrire les langues employées par les Guyanais dans les circonstances officielles et familières, aussi bien que les autres langues employées par les habitants des pays voisins avec lesquels les Guyanais sont susceptibles d'entrer en rapport;

d. Aptitude à comprendre les notions mathématiques et scientifiques élémentaires relatives à la vie quotidienne.

e. Capacité d'apprécier les arts: musique, sculpture, peinture, théâtre, danse, littérature, cinéma, etc., d'être conscient de l'apport de la Guyane dans ces domaines et de contribuer de manière créative à l'activité de l'un ou de plusieurs de ces secteurs;

f. Capacité de comprendre et d'expliquer l'environnement guyanais dans ses aspects tant physiques que socio-culturels, ce qui devrait inclure la compréhension de la manière dont on peut maîtriser l'environnement et l'exploiter pour les besoins de la vie et de la santé; c'est-à-dire connaissance de soi-même en tant qu'être humain; connaissance de certaines notions de diététique, du rôle de la médecine préventive et curative dans la protection de la santé nationale, compréhension des règles qui régissent les rapports officiels et familiers entre Guyanais; compréhension des institutions sociales, économiques et politiques de la Guyane et de leur interdépendance;

g. Connaissance sur les techniques spécialisées de la société guyanaise, telles celles que requièrent l'agriculture, la technique, le service social, l'administration, le commerce et autres branches d'activité;

h. Faculté d'exercer un jugement critique et de tenter de résoudre les problèmes liés à la vie quotidienne en appliquant les connaissances acquises pendant la scolarité.

II. Conscience

a. Se comprendre soi-même et apprécier sa propre valeur ;
b. Apprécier ce que signifie le fait d'être Guyanais ; comprendre les aspirations nationales ; agir, sentir et penser comme un Guyanais dans des situations données ;
c. Avoir conscience de la nécessité de réfléchir à la nature de la société ;
d. Avoir conscience de la diversité des doctrines religieuses et des normes culturelles de la société guyanaise ;
e. Comprendre les rapports pluri-ethniques, la nature du comportement humain et l'importance des rapports humains dans les situations tant professionnelles que sociales ;
f. Reconnaître l'égale dignité de tous les hommes ;
g. Reconnaître la dignité du travail, et admettre que dans une société chaque membre est capable de participer activement à la vie de sa communauté immédiate en même temps qu'à celle du pays tout entier.

III. Comportement

a. Se montrer désireux de continuer à apprendre après la fin de la scolarité ;
b. Employer son temps libre à des activités utiles et enrichissantes ;
c. Prendre des habitudes hygiéniques et de bien-être physique ;
d. Évaluer les exigences et les avantages des diverses carrières en fonction de ses aspirations et de ses compétences personnelles ; et être conscient qu'un employé a des responsabilités précises envers son employeur ;
e. Savoir compter sur soi-même et être prêt à faire preuve d'initiative pour gagner sa vie ;
f. Reconnaître sa responsabilité envers les autres membres de la société dans les relations professionnelles, le travail bénévole ou les échanges sociaux ;
g. Se soucier du bien-être d'autrui ;
h. Savoir respecter la propriété publique et privée ;
i. Faire preuve de respect, de compréhension et de coopération à l'égard des divers groupes culturels, économiques et ethniques de la société guyanaise et du monde en général ;
j. Assumer ses responsabilités en tant que citoyen d'une nation en développement, et participer pleinement à la vie du pays.

Une éducation axée sur l'individu ou sur la société ?

Les grands programmes élaborés dans les années cinquante et soixante commençant avec le Physical Science Study Committee (PSSC) [Comité d'études des sciences physiques] des États-Unis et comprenant le Nuffield Project du Royaume-Uni, mettaient nettement l'accent sur la dimension cognitive et individuelle de la formation. Le but recherché était le développement des capacités intellectuelles de l'individu. Depuis 1970 environ, les options retenues insistent davantage sur un enseignement des sciences orienté vers des préoccupations humaines et sociales. Les principaux exemples de ce déplacement d'accent sont fournis par le Harvard Project Physics (dont les adaptations locales ont donné de si bons résultats dans de nombreux pays), le British Schools

Council Integrated Science Project (SCISP) [Projet d'enseignement scientifique intégré du Conseil scolaire britannique] et l'Australian Science Education Project (ASEP) [Projet australien d'enseignement scientifique]. On assiste à une évolution analogue dans de nombreux pays procédant actuellement à l'élaboration de programmes scolaires nationaux.

Kerr a fait état d'une enquête effectuée dans 53 pays en développement, auprès de 500 pédagogues confirmés; il s'agissait de désigner les finalités les plus importantes de l'enseignement. Les seize éléments ainsi retenus furent ensuite classés par ordre d'importance. Nous reproduisons ci-dessous l'analyse de ces seize finalités dans leur ordre de classement [6].

Analyse des finalités importantes

Rang		*Échelle de Bloom*
1.*	Aider l'enfant à acquérir un état d'esprit qui lui permettra de faire face aux problèmes de l'existence dans un monde en pleine évolution.	Affective 5.1
2.	Aider l'élève à acquérir les aptitudes propres à la pensée logique (observation, capacité de décision ...)	Cognitive 6.2
3.*	Aider l'enfant à devenir un citoyen compétent, qui contribuera au développement de sa communauté.	Affective 3.3
4.*	Renforcer l'unité nationale.	Affective 4.2
5.	Aider l'enfant à développer pleinement toutes ses capacités.	Cognitive 6.2
6.*	Développer les qualités civiques chez l'enfant.	Affective 3.3
7.*	Aider l'élève à acquérir une formation adaptée à ses besoins et à ses aptitudes au sein d'une société rurale.	Cognitive 6.2
8.*	Développer chez l'élève l'esprit de curiosité et l'attitude expérimentale.	Affective 3.2
9.*	Aider l'élève à développer des attitudes sociales plutôt qu'individualistes.	Affective 3.2
10.*	Favoriser la compréhension mutuelle entre les divers groupes culturels qui composent la communauté.	Affective 3.1
11.*	Contribuer à améliorer la santé et l'hygiène dans la communauté.	Affective 2.2
12.*	Doter la société d'une éducation évolutive, apte à se modifier en fonction des connaissances nouvelles et des problèmes nouveaux.	Cognitive 6.1
13.	Développer chez l'élève, à tous les niveaux, l'aptitude à résoudre les problèmes.	Cognitive 6.1
14.	Encourager chez l'élève une attitude favorable à l'acquisition et à l'utilisation des connaissances sur une base permanente (pour lui permettre de s'orienter dans le vaste répertoire des connaissances actuelles et futures).	Affective 3.2
15.	Aider l'élève à devenir un être conscient de ses propres possibilités.	Affective 1.1
16.*	Développer chez l'élève une discipline de travail sérieuse et constructive.	Affective 4.2

* Finalités d'ordre sociétal — 5 finalités cognitives, 11 finalités affectives

Kerr souligne que sur les douze premières finalités, neuf se rapportent à la société. Sur les seize finalités « importantes », cinq seulement relèvent nettement du domaine cognitif, les autres étant classées comme affectives (c'est-à-dire relatives aux attitudes). Les cinq finalités cognitives elles-mêmes sont classées au niveau le plus élevé de la « Taxinomie des objectifs éducatifs » établie par Bloom. c'est-à-dire au niveau 6 de l'échelle d'évaluation [1]. L'analyse statistique des résultats a mis en évidence une grande homogénéité au sein de groupements de natures diverses (hommes, femmes, Africains, Indiens, Arabes...) et il ressort d'une étude plus poussée que les priorités retenues par les administrateurs scolaires dans les pays en développement correspondent à celles qu'ont désignées les pédagogues.

Tâches

1. *Désignez les trois buts qui vous paraissent, à vous, les plus importants.*
2. *Voyez-vous d'autres buts qui, selon vous, mériteraient de figurer dans la liste des « seize premiers » ? Si oui, peuvent-ils être classés dans la catégorie cognitive, affective, ou dans une autre rubrique? Ont-ils ou non une dimension sociale?*

Bien que l'on assiste actuellement, dans le domaine des programmes d'enseignement, à un transfert de l'orientation individuelle et cognitive vers une orientation sociale et affective, on a souligné en Inde qu'un enseignement axé sur la dimension sociale ne doit pas nécessairement dévaloriser l'individu [7]:

« Cette insistance sur les fins sociales de l'éducation, sur la nécessité d'employer l'éducation comme instrument de réalisation des aspirations nationales ou pour faire face aux échéances nationales, n'implique nullement une sous-estimation des valeurs liées à l'individu. En démocratie, l'individu est une fin en soi, et le premier but de l'éducation est de donner à l'individu tous les moyens de développer pleinement ses potentialités. Mais la réalisation de cet objectif passe par la réforme sociale et la valorisation des perspectives sociales. En fait, l'un des principes fondamentaux qui devront être mis en avant dans le modèle de société socialiste que la nation souhaite réaliser, c'est précisément l'idée que l'accomplissement individuel se fera non pas par l'attachement étroit et égoïste à des intérêts personnels ou de groupes, mais par le dévouement de tous aux intérêts plus larges du développement national dans tous ses paramètres. »

1. On pourrait critiquer le mode de classification de ces finalités, en soutenant que la taxinomie de Bloom n'était pas censée s'appliquer à des objectifs aussi larges. Cela n'ôte rien, cependant, à l'intérêt de la conclusion de Kerr, à savoir que la liste des finalités privilégie la société et les attitudes beaucoup plus qu'il n'est courant de le faire dans la pratique scolaire.

Les deux études de cas «Élargir ses objectifs» et «Respect et pensée critique» montrent comment l'enseignement peut aider à la réalisation des objectifs d'ordre sociétal.

Étude de cas: Élargir ses objectifs

Mme Stich enseigne depuis plusieurs années déjà. «La rouille» est inscrite au programme de son cours et elle avait déjà traité ce sujet selon l'approche traditionnelle, en plaçant des clous dans quatre tubes à essai. Elle constata qu'un certain nombre d'enfants étaient capables de décrire assez correctement l'expérience dans une interrogation écrite. Il n'y avait cependant de leur part aucune trace de véritable pensée scientifique, et les enfants ne parvenaient apparemment pas à faire le lien entre les faits décrits et la réalité concrète. Pour varier son enseignement et tenter une approche plus stimulante, l'institutrice proposa à ses élèves les exercices 2.40 à 2.42 du Nouveau manuel de l'Unesco. *Ces activités accrurent les capacités de raisonnement scientifique chez les enfants, et ceux-ci commencèrent à lier le phénomène de la rouille à des situations extérieures au laboratoire (par exemple grâce à la question «Quel est le métal qui résiste le mieux à la formation de la rouille: le zinc, le cuivre ou l'étain?»). Toutefois, Mme Stich, estimant que cela n'était encore qu'un exercice intellectuel, voulait aller plus loin. Une sorte d'«éducation du consommateur» lui semblait indispensable pour atteindre le premier des buts définis dans la liste de Kerr: aider l'enfant à acquérir un état d'esprit qui lui permette de faire face aux problèmes de l'existence dans un monde en pleine évolution. En conséquence, une fois que la classe eut étudié et compris le processus de la rouille, Mme Stich aborda le problème du décapage et de la prévention de la rouille. Elle procura aux élèves du fer rouillé, un décapant vendu dans le commerce, du Coca-Cola (mentionné par un des enfants comme étant un bon décapant pour la rouille) et quelques produits chimiques couramment utilisés en laboratoire. Ces différentes substances furent étudiées et analysées par divers groupes d'enfants, qui devaient les comparer du point de vue de l'efficacité et de la rapidité du décapage, du coût et de la prévention ultérieure de la rouille.*

Quand Mme Stich procéda à l'évaluation de son enseignement après cette activité, elle eut le sentiment d'avoir atteint un double objectif en développant chez ses élèves une démarche scientifique et une prise de conscience de futurs «consommateurs».

Étude de cas: Respect et pensée critique

M. Gianetti enseigne dans un pays où les valeurs de la classe moyenne se développent plus rapidement que le niveau économique de la société. La plupart des gens respectent davantage les employés

de bureaux que les fermiers, et tout le monde veut habiter dans une nouvelle maison en béton. Stimulé par le programme d'enseignement de l'Australian Science Education Project intitulé «Places for people» [De la place pour les gens], M. Gianetti propose à sa classe un programme sur l'habitat dans le monde qui permet aux élèves de réfléchir à l'efficacité de l'isolation thermique et de la ventilation dans les fale *des îles Samoa, dans les murs en torchis des maisons afghanes, les igloos des Esquimaux, les volets à jalousie d'Espagne et les doubles fenêtres de la Suisse; l'emploi des matériaux locaux pour construire ces maisons et le rapport esthétique de celles-ci avec l'environnement font également l'objet d'une étude détaillée. Une fois le programme terminé, les enfants ont acquis un respect nouveau pour ceux qu'ils appelaient les «peuples primitifs» et ils ont un regard beaucoup plus critique sur l'habitat de leur propre communauté.*

Tâches

1. *A quels points de la liste des buts de l'éducation en Guyane le programme de M. Gianetti se rattache-t-il?*
2. *Quelles connaissances scientifiques et quelles compétences ce programme aura-t-il pu apporter aux enfants?*
3. *Choisissez un ou plusieurs des buts cités dans l'analyse de Kerr, et ébauchez un programme analogue à celui de Mme Stich ou de M. Gianetti et correspondant aux buts que vous avez choisis.*

Les attentes de la société

Les professeurs ont tendance à s'alarmer quand ils enseignent à des enfants dont les parents ne se soucient guère d'autre chose que des diplômes. De tels parents ont eu une instruction soit très sommaire, soit très traditionnelle, et ils peuvent avoir l'impression qu'une école qui ne bourre pas le crâne des enfants n'est pas une bonne école. Pour ce genre de parents, il est rassurant de voir l'enfant rentrer à la maison avec une pile de livres et de leçons à apprendre.

Bien des professeurs comprennent ce point de vue parce qu'ils l'ont eu eux-mêmes à un moment ou à un autre. L'enseignant a conscience que, même pour ceux dont la tâche est d'instruire, il n'est pas facile de définir la nature et l'objet d'un enseignement et d'un apprentissage valables. Il faut pour cela des années d'expérience professionnelle et de quête lucide. Néanmoins, certaines finalités de l'enseignement, et

certaines méthodes, peuvent s'avérer difficiles à mettre en œuvre sans l'appui et la compréhension du public profane. Les responsables scolaires devraient avoir conscience de cette difficulté et s'efforcer de faire comprendre aux parents et à la communauté le sens de leur action.

Tâches

1. *Quel pourrait-être, selon vous, l'intérêt de donner aux enfants des expériences à faire à la maison?*
2. *Pensez-vous que cette stratégie puisse être utile dans votre communauté pour aider les parents à comprendre votre démarche? L'avez-vous déjà essayée?*

Dans la section suivante, nous traiterons de la composante scientifique proprement dite des programmes d'enseignement, et de l'équilibre qu'elle apporte à la formation générale telle que nous l'avons envisagée jusqu'ici.

Finalités, buts et objectifs de l'enseignement des sciences

Bien des professeurs admettent volontiers que leur but principal est la réussite des élèves aux examens. S'ils pensent également que les examens se bornent à évaluer uniquement les aptitudes cognitives de faible niveau (tel que le simple rappel des faits), leur enseignement se réduira alors à déverser dans le cerveau de l'enfant un maximum d'informations, en espérant qu'il en restera quelque chose. La plupart d'entre nous ont pratiqué cette méthode et nous avons presque tous été formés de cette façon.

Pourtant, s'il réfléchit très attentivement au problème des buts et des objectifs de son enseignement, le professeur se fera une idée beaucoup plus nette de sa démarche. Il comprendra qu'il s'est cantonné dans des buts à court-terme, ne concernant que les quelques enfants les plus doués et se limitant même à l'obtention d'un diplôme au bout d'une année ou deux. Il comprendra qu'il a refusé sa responsabilité d'éducateur en ne cherchant pas à préparer pour leur vie entière tous les enfants dont il a la charge. Il prendra également conscience du fait que la plupart des concours ou examens officiels mettent en jeu des aptitudes beaucoup plus complexes que la simple mémorisation. Et même le professeur expérimenté découvrira que son enseignement a beaucoup à gagner à cette réflexion.

Buts du cours de sciences de niveau secondaire en Papouasie – Nouvelle-Guinée

Le cours de sciences devrait viser à développer chez l'enfant certaines attitudes, compétences intellectuelles et manuelles et certains concepts qui l'aideront à comprendre et à résoudre les problèmes de son milieu, tout en reconnaissant leur portée spécifique dans le cadre de l'évolution de la Papouasie – Nouvelle-Guinée.

Il s'agit de développer chez l'enfant:

a. *L'intérêt et la curiosité à l'égard des phénomènes naturels de son environnement, et la volonté de rechercher une explication scientifique à ces phénomènes;*
b. *La compréhension et l'évaluation de ses relations avec son environnement, et la confiance dans son aptitude à modifier et améliorer cet environnement;*
c. *La compréhension d'un certain nombre de faits et de théories scientifiques importants, et la faculté de les appliquer à des situations qui s'y prêtent;*
d. *La capacité de jugement critique et la méfiance à l'égard des opinions qui ne se fondent sur rien ou sur des preuves sujettes à caution;*
e. *La compréhension et l'appréciation des méthodes scientifiques, et de la contribution passée, présente et éventuellement future de la science de l'humanité.*

Vous conviendrez sans doute que les buts de la Papouasie – Nouvelle-Guinée [8] s'insèrent très facilement dans le cadre des finalités de l'enseignement général telles que nous les avons exposées dans la section précédente.

Tâches

1. *Imaginez que vous emmenez une de vos classes examiner et expliquer la répartition des différents types de plantes sur la pelouse de l'école. Quelles activités pourriez-vous inclure dans cette étude afin d'atteindre l'un ou l'autre des buts figurant sur la liste de la Papouasie – Nouvelle-Guinée?*
2. *Reportez-vous à l'activité 2.306 du* Nouveau manuel de l'Unesco. *Comment, selon vous, l'enseignant de Papouasie – Nouvelle-Guinée pourrait-il organiser la discussion accompagnant l'exercice?*

Si la formulation des buts et des objectifs est une pratique relativement nouvelle, elle n'en constitue pas moins la caractéristique essentielle de la plupart des grands programmes d'enseignement élaborés depuis le

milieu des années soixante. Le projet du Schools Council, Science 5/13, accorde aux buts et objectifs une importance si décisive que le fascicule central (intitulé *With objectives in mind)* de l'ensemble du projet est consacré à leur analyse, et la liste des buts et objectifs du projet figure dans chacun des autres fascicules.

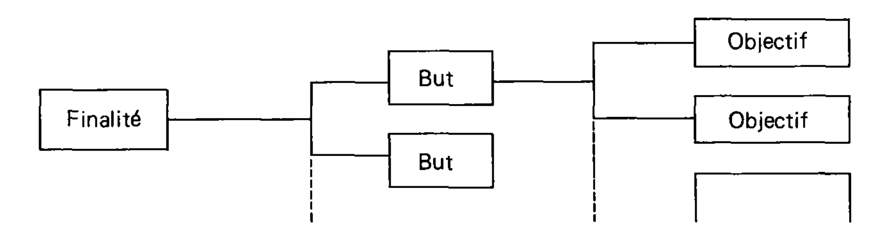
Les buts et objectifs précisent *pourquoi* nous enseignons et définissent les cibles. Ils précisent quels changements nous nous efforcerons d'amener chez nos élèves, et quelles connaissances, aptitudes et attitudes nous espérons voir se développer chez eux grâce à notre enseignement. Ils aident à éviter le risque d'un enseignement «aveugle».

Tout au long de cette section, nous serons amenés à citer largement les déclarations de buts et d'objectifs de différents programmes d'enseignement élaborés en divers points du globe [1]. Nous espérons que vous étudierez attentivement ces énoncés et que vous porterez sur eux des jugements de valeur.

Quelle est la différence entre finalités, buts et objectifs? [2]

La progression finalités-buts-objectifs implique une démarche de plus en plus spécifique et à terme de plus en plus rapproché. Le schéma suivant montre les rapports qui pouvaient être établis entre ces trois notions. Nous allons étudier de plus près chacun de ces éléments et examiner en même temps certains des projets élaborés par les groupes de recherche sur les programmes.

Relations entre les finalités, les buts et les objectifs



1. Si vous désirez en savoir davantage sur ces programmes, nous vous conseillons de consulter un exemplaire récent de l'*Annual report of the International Clearinghouse of Science and Mathematics Curricular Developments* [Rapport annuel du Centre international de documentation sur le développement des programmes de sciences et de mathématiques].
2. *Attention.* Il se peut qu'au cours de vos lectures, vous constatiez que d'autres auteurs n'emploient pas ces termes tout à fait dans le même sens que nous. Ainsi certains pédagogues utilisent-ils le mot «objectifs» dans un sens plus large qu'ici. Mais cette différence est sans importance dès lors qu'on voit clairement de quoi il s'agit.

Finalités. Dans la section précédente, nous avons traité des finalités de l'enseignement général. Certains programmes pour l'enseignement des sciences formulent en outre une finalité globale qui est censée résumer en une seule phrase l'objet du programme. On trouvera ci-dessous trois exemples de finalités correspondant à des programmes différents.

Finalités de certains programmes de sciences

Science 5/13 du Royaume-Uni
Développer l'esprit de curiosité et l'approche scientifique des problèmes.

Science Curriculum Improvement Study *(SCIS) [Étude pour l'amélioration des programmes de science]* des États-Unis
Améliorer la culture scientifique élémentaire de l'ensemble de la population.

Australian Science Education Project *(ASEP) [Projet australien d'enseignement des sciences]*
Mettre au point des matériels permettant de faire faire aux enfants des expériences scientifiques propres à favoriser leur développement.

Tâches

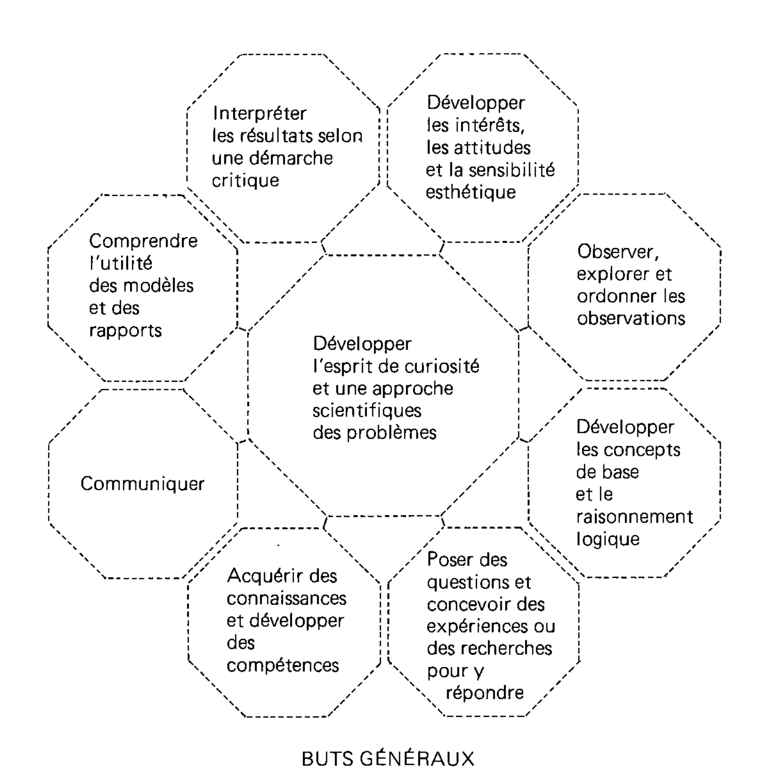
1. *De ces trois finalités, quelle est celle (quelles sont celles) qui est (sont) centrée(s) sur le développement individuel de l'enfant?*
2. *Qu'est-ce que la «culture scientifique élémentaire»? En quoi diffère-t-elle de l'«esprit de curiosité» et de l'«approche scientifique des problèmes»?*
3. *Quelle est celle de ces finalités qui vous paraît s'attacher davantage au développement de l'adulte dans sa totalité, plutôt qu'au développement de l'adulte en tant que scientifique?*
4. *Quelle est la finalité à laquelle vous attachez le plus de valeur?*

Dans la tâche 4, nous vous demandons d'évaluer les finalités. Mais il vous serait impossible d'évaluer votre *enseignement* en fonction de ces finalités. En effet, elles sont trop générales et à trop long terme pour que vous puissiez savoir facilement si elles ont été atteintes ou non, et juger les améliorations à apporter à votre enseignement. Nous reviendrons par la suite sur cette question de l'évaluation.

Buts. Si les finalités énoncent l'intention et l'orientation générales d'un enseignement, elles ne sont pas, par contre, d'une grande utilité pratique quand il s'agit pour le professeur de concevoir les activités scolaires quotidiennes.

Les buts auront donc une fonction plus spécifique mais, tout comme les finalités, ils se situent le plus souvent à long terme.

L'exemple de la Papouasie – Nouvelle-Guinée, cité précédemment, énonce d'abord la finalité d'ensemble, qui se décompose ensuite en cinq buts. Un autre exemple nous est fourni par le diagramme en «flocon de neige» de Science 5/13 [9] où la finalité de l'enseignement occupe une position centrale, entourée de huit buts spécifiques. Il vous sera facile d'interpréter la plupart de ces buts en fonction de l'expérience acquise grâce à vos propres cours.



BUTS GÉNÉRAUX

Il faut noter que les buts ont tous une formulation centrée sur l'enfant; ainsi pour le but 4, par exemple, c'est l'*enfant* qui doit être capable de poser des questions et de concevoir des expériences ou des recherches. L'enfant est considéré comme un participant actif au processus d'apprentissage.

Comparez cette orientation avec la démarche du professeur présentée dans l'étude de cas suivante.

Étude de cas: Performance du professeur ou apprentissage des élèves?

L'élève-maître avait formulé le but de la leçon en ces termes: donner aux élèves un aperçu du processus des transformations chimiques et physiques. Le conseiller pédagogique ne fut donc pas surpris d'avoir avec lui, à la fin du cours, le dialogue suivant:

Conseiller: Eh bien! Victor, comment s'est passée la leçon?
Elève-maître: Je crois avoir fait de mon mieux.
Conseiller: Et les élèves, comment ont-ils trouvé la leçon à votre avis?
Elève-maître: *(silence)*... Bien... je crois...
Conseiller: Est-ce que vous pensiez vraiment à eux, est-ce que vous les avez vraiment observés pendant que vous faisiez le cours?
Élève-maître: Franchement, j'étais trop absorbé par mon propre exposé!

Tâches

1. *Si l'on a défini, dans votre pays, un ensemble de buts généraux pour l'enseignement des sciences, comparez cet énoncé à celui de la Papouasie – Nouvelle-Guinée et à celui de Science 5/13. Souhaiteriez-vous modifier la liste de votre pays?*
2. *Le chapitre 4 du* Nouveau manuel de l'Unesco *traite des sciences de la terre et de l'espace, et de la météorologie. En quoi l'étude de ces sujets répond-elle aux buts que nous avons examinés?*

Revenons à l'évaluation. Lorsque nous faisons un cours, que nous donnons un devoir à faire à la maison ou une interrogation écrite, nous cherchons à évaluer, à partir du résultat obtenu par chaque enfant, jusqu'à quel point nous avons réussi dans les buts que nous nous étions fixés. Si un enfant témoigne régulièrement d'une difficulté à communiquer (par écrit ou oralement), ou s'il est lent à développer un esprit critique, par exemple, il nous faut alors le suivre plus attentivement dans ces domaines. En sachant rester attentif à la fois aux buts fixés et aux progrès des enfants, le professeur parviendra à adapter son enseignement.

Objectifs. Les objectifs peuvent être très spécifiques et sont en général à court terme. Outre leur fonction d'aide à la préparation des activités pédagogiques, ils sont aussi d'une grande utilité au professeur pour évaluer son enseignement. Le fait d'avoir les objectifs présents à l'esprit lui donnera en effet la possibilité d'élaborer des stratégies qui feront ressortir les points où il doit modifier ou compléter son action.

Dans la section sur les buts, nous avons donné des exemples de tous les buts correspondant à certains programmes. Il est impossible de procéder de même avec les objectifs, car, pour chaque programme d'enseignement, il existe une multitude d'objectifs spécifiques. Nous nous contenterons donc de sélectionner certains des objectifs de quelques programmes pour tenter de montrer la différence entre buts et

objectifs, et entre les types d'objectifs d'un programme à l'autre. Une étude attentive de ces différences devrait permettre à l'enseignant de mieux comprendre *pourquoi* il enseigne les sciences. Le premier exemple nous vient des Philippines [10].

Buts et objectifs d'une unité d'enseignement scientifique intégré aux Philippines

Les combinaisons chimiques dans les corps vivants
Ce chapitre et le suivant sont destinés à montrer que le modèle rendant compte de la nature de la matière peut s'appliquer aussi bien aux systèmes vivants qu'aux systèmes non vivants. Les organismes vivants entrent en interaction avec leur environnement. Cette interaction peut se modifier sous l'influence d'un changement dans la concentration des éléments réactifs ou d'un changement de température. On constate donc que cette interaction est similaire à celle que l'on observe dans les matières non vivantes. Toutefois, la question se pose de savoir si le poisson est un authentique réactif. Peut-il être le siège de réactions? (C'est là le sujet du chapitre suivant.) En outre, le modèle est appliqué aux réactions chez les êtres humains (par exemple la neutralisation de l'acide gastrique).

Objectifs. *A la fin du chapitre, l'élève devrait être capable de:*

a. *Savoir que l'expérience de Winkler sert à mettre en évidence l'oxygène dissous.*
b. *Décrire un test permettant de déceler la présence d'oxygène dissous.*
c. *Vérifier expérimentalement la loi sur les réactions chimiques au sein des systèmes vivants.*
d. *Montrer que, si un échantillon d'eau contient de l'oxygène dissous, le reste de la solution en contient aussi.*
e. *Vérifier expérimentalement que le taux de combustion de l'oxygène dépend de la concentration des poissons.*
f. *Montrer expérimentalement que l'intensité de la réaction dépend de la température.*
g. *Montrer expérimentalement que l'augmentation de la concentration de poissons accélère la combustion d'oxygène et le dégagement de gaz carbonique.*
h. *Montrer expérimentalement que l'augmentation de la température accélère la combustion d'oxygène et le dégagement de gaz carbonique.*
i. *Reconnaître que le carbone du gaz carbonique émane des poissons.*
j. *Montrer expérimentalement que les systèmes vivants se comportent comme les systèmes non vivants du point de vue des réactions chimiques.*

k. *Connaître le test qui met en évidence la présence d'un acide.*
l. *Savoir que les bases sont des substances qui neutralisent les acides.*
m. *Concevoir et réaliser une expérience simple destinée à vérifier l'efficacité de certains remèdes pour quelques maladies courantes.*

De prime abord, les objectifs paraissent assez dérisoires par rapport aux finalités et aux buts que nous avons évoqués précédemment. On pourrait se demander: «Est-il vraiment important que le futur adulte connaisse le test qui met en évidence la présence d'un acide?» (objectif *k*). Non, bien sûr. Pourtant, si nous nous reportons aux buts définis préalablement, tout cela prend un sens. Les objectifs ne sont que des repères pour arriver aux buts. Les buts représentent les connaissances, aptitudes et compétences importantes et à long terme, tandis que les objectifs représentent les jalons à court terme qui permettront d'atteindre les cibles globales. Une fois les buts essentiels atteints, peu importe si les connaissances et aptitudes mentionnées dans les objectifs se sont quelque peu estompées.

Les objectifs offrent certes un moyen utile pour parvenir aux fins poursuivies en matière d'éducation, mais notre enseignement tombera dans la banalité si nous perdons de vue les buts que nous nous sommes fixés. Quand les enfants étudient la structure de la fleur de citronnier, le professeur peut avoir pour buts principaux de leur faire découvrir le concept de reproduction, le rapport entre la forme et la fonction, de leur donner certaines notions d'horticulture et d'éveiller leur sensibilité esthétique. La manière de présenter la leçon reflétera ces préoccupations importantes.

Dans les épreuves sur table importantes, les questions posées aux élèves devraient s'inspirer des buts et non pas des objectifs limités. Par contre, dans les petites interrogations écrites, on pourra insister sur les objectifs, afin de vérifier si chacun fait des progrès et de savoir quelles mesures s'imposent là où l'on constate des lacunes.

Les objectifs des Philippines décrivent les comportements que le professeur s'efforce de développer chez l'élève. Si l'élève adopte effectivement ces comportements, et si le professeur peut l'observer, il saura que les objectifs ont été atteints. Ces objectifs s'appellent donc des *objectifs de comportement.*

Tâches

1. *Choisissez trois objectifs dans la liste des Philippines et imaginez pour chacun d'eux des questions pour de petites interrogations écrites, qui vous aideront à vérifier si les objectifs ont été atteints ou non.*

2. *Choisissez trois autres objectifs et, pour chacun d'eux, esquissez des activités scolaires qui vous permettront d'observer les comportements des enfants pendant qu'ils travaillent et, par là-même, d'évaluer les progrès de votre enseignement.*
3. *Imaginez un sujet d'épreuve sur table importante qui se rattache en partie aux buts énoncés dans l'exemple des Philippines.*

Les objectifs de comportement sont-ils le meilleur type d'objectifs? Nombreux sont ceux qui soutiennent que non, estimant que ces objectifs restent le plus souvent très spécifiques, qu'ils tendent donc à trop limiter le professeur, et peuvent aussi lui faire perdre de vue des buts tout à fait dignes d'intérêt mais qui ne peuvent se formuler en termes de comportement, tels que le goût, la sensibilité esthétique ou le souci des autres. Pour illustrer les divers types d'objectifs, nous proposons ci-dessous des exemples d'objectifs concernant les variables, extraits du programme du SCIS [11] et de Sciences 5/13 [12].

Deux types d'objectifs

Objectifs de comportement (SCIS)

Identifier les variables qui interviennent dans le fonctionnement d'un système de bobines à rivet (coil-rivet system) en circuit fermé.

Identifier les variables d'un circuit électrique.

Élaborer et réaliser des expériences indépendantes pour tester les différentes variables dans les interactions électriques.

Objectifs non axés sur le comportement (Science 5/13)

Savoir établir des comparaisons en fonction d'une propriété ou d'une variable.

Comprendre qu'il peut y avoir plus d'une seule variable en cause dans une transformation donnée.

Savoir tester les variables et découvrir celles qui sont opératoires.

Avoir conscience de la nécessité de contrôler les variables et de recourir à des contrôles dans les expériences.

Un ensemble équilibré de finalités, de buts et d'objectifs

Si nous voulons éduquer l'individu dans sa totalité, nous ne devons pas oublier qu'outre son cerveau il a aussi un cœur et des mains. Nous devons, certes, lui apprendre à penser, mais nous devons aussi l'aider à développer des sentiments, des attitudes et des émotions, et nous devons également lui donner les moyens d'acquérir certaines aptitudes manuelles. Or le professeur de sciences est admirablement bien placé

pour contribuer au développement de l'enfant dans la multiplicité de ces aspects. Quand un enfant procède au pesage d'une portée de souris, il ne fait pas que découvrir une information intéressante: il apprend aussi à maîtriser ses petites mains maladroites, à éprouver de l'affection pour ces petites créatures sans défense et à surmonter sa réticence à manipuler des animaux. Lorsqu'il entreprend de démonter une torche électrique, il lui faut manœuvrer délicatement, tout en apprenant que l'électricité n'a rien de magique et que sa conquête est un des grands exploits de l'homme. Malheureusement, il peut arriver que le souci de satisfaire aux buts présumés du maître (il s'agira souvent de la mémorisation de faits ou de l'exécution d'un dessin soigné) prédomine chez l'enfant au détriment de son apprentissage. Puisque l'enfant a besoin de savoir et de comprendre ce qui est important aux yeux du professeur, il est essentiel pour ce dernier d'avoir lui-même mûrement réfléchi à la question.

Une méthode de classification des objectifs éducatifs a été établie par Bloom [13]. Il les divise en trois grandes catégories:

Les objectifs cognitifs, c'est-à-dire ayant trait aux processus intellectuels (raisonner, concevoir, critiquer, etc.);

Les objectifs affectifs, c'est-à-dire ceux qui concernent les sentiments et les attitudes;

Les objectifs psychomoteurs, par exemple l'aptitude à manipuler les instruments de laboratoire, à dessiner, etc.

Ces grandes catégories (Bloom les appelle les domaines) peuvent se subdiviser en groupes plus précis. Les domaines cognitifs et affectifs ont été ainsi analysés et décomposés en sous-groupes classés par ordre de difficulté croissante, le tout constituant ce que l'on appelle une taxinomie.

Nous avons vu dans l'enquête citée par Kerr (voir plus haut) qu'un groupe de pédagogues des pays en développement accordaient une grande importance aux objectifs affectifs et aux objectifs cognitifs de niveau élevé. On a également souligné que les enseignants ont tendance à insister sur les objectifs cognitifs de faible niveau (ce qu'Eric Rogers appellerait le rappel cher ou bon marché). Quand un professeur a pris conscience de cette limitation et découvert qu'il pouvait aller beaucoup plus loin, le contenu de son enseignement revêt une signification nouvelle. On trouvera dans de nombreux ouvrages les taxinomies de Bloom et de Krathwohl, assorties de commentaires utiles, et nous ne saurions trop conseiller aux professeurs de s'y reporter pour bien les assimiler et les mettre en application dans leur enseignement. Le matériel sur bande intitulé *Classifying educational objectives* [14] (Classement des objectifs pédagogiques) et qui fait partie du Science Teacher Education Project (STEP) [Projet de formation des professeurs de sciences] constitue un guide particulièrement précieux.

D'aucuns jugent la classification de Bloom trop rigide et trop systématique, bien qu'elle ait incontestablement contribué à clarifier les idées. Un groupe de pédagogues de Nouvelle-Zélande travaillant à l'élaboration d'un nouveau projet de certificat d'études secondaires, ont su s'inspirer des catégories définies par Bloom sans se laisser enfermer dans des limites trop contraignantes. Les objectifs correspondant à chacun des modules se répartissent en trois groupes (également proposés par Layton [15]):

1. L'importance du savoir scientifique.
2. Les méthodes de travail du scientifique.
3. Les implications sociales de la science.

On trouvera ci-dessous l'exemple d'un module [16].

Objectifs d'un module d'enseignement en Nouvelle-Zélande

Produits chimiques de consommation courante

Le but de ce module est de permettre aux élèves d'évaluer la qualité des produits de consommation en se fondant sur un jugement scientifique solide.

A la fin de ce module, l'élève devrait être capable de:

1. *Décrire, en se fondant sur ses propres recherches ou sur celles des autres, la nature, l'utilité et l'efficacité d'au moins trois des groupes suivants:*
   a. *Pesticides, désherbants et fongicides;*
   b. *Détergents, savons et autres agents nettoyants;*
   c. *Matériaux de construction industriels tels que béton armé, peinture, etc.;*
   d. *Produits cosmétiques;*
   e. *Désinfectants, antiseptiques et désodorisants;*
   f. *Tout autre groupe de produits chimiques de consommation courante présentant un intérêt particulier.*
2. a. *Dire si un produit donné est bien adapté à ses divers usages;*
   b. *Effectuer des tests comparatifs de niveau scientifique sur une gamme de produits, en reconnaissant la nécessité de contrôler les expériences;*
   c. *Se prononcer sur la véracité des publicités et des brochures promotionnelles concernant la gamme des produits testés.*
3. *Analyser, le cas échéant, l'impact du produit sur l'environnement.*

Parmi les projets pilotes qui insistent sur la dimension sociale de la science, il faut mentionner particulièrement l'Australian Science Education Project (ASEP) et le Schools Council Integrated Science Project (SCISP). Dans l'exemple suivant, emprunté à l'ASEP, nous

avons retenu les objectifs correspondant au thème central de l'unité, et l'une des options proposées pour cette unité [17].

Quelques objectifs extraits de Australians – Past and Present *(ASEP)*

Thème central, les premiers Australiens et vous

L'élève doit connaître dans ses grandes lignes le mode de vie des Aborigènes, l'importance de l'usage du feu dans leur société et leur mode d'adaptation à l'environnement.

L'élève doit être capable d'employer les instruments de mesure de l'énergie et de la puissance pour évaluer la quantité d'énergie qu'il consomme ou qu'il transforme.

L'élève doit avoir conscience des différences existant entre l'approche qu'il a de son environnement et celle qu'ont les Aborigènes du leur.

L'élève doit être préparé à envisager différentes approches au problèmes des interactions au sein de l'environnement, et à évaluer les conséquences de ces différents types d'approche.

Option 5, l'art aborigène

On voudrait montrer ici comment l'homme s'adapte à l'environnement pour satisfaire ses besoins. Fondamentalement, il s'agit de faire prendre conscience à l'élève de l'idée que:
L'art avait une signification spirituelle.
L'art était un moyen de communiquer.
L'art constituait une fin en soi.
L'Aborigène était dépendant de l'environnement pour ses matériaux.
L'art aborigène est unique.

Le professeur de sciences constatera qu'une large place est faite à la science dans ces objectifs, mais que le contenu scientifique est enrichi par l'étude d'une société différente appartenant au propre pays de l'enfant, et par le respect témoigné à l'égard de cette société. Dans le programme du SCISP, nous avons sélectionné un objectif lié aux compétences et un objectif lié aux attitudes, extraits de la section consacrée à «L'électron, les ions et les structures géantes» [18]. Un enseignement fondé sur ce genre d'objectifs est certainement plus fécond que la manière traditionnelle d'enseigner la structure atomique et moléculaire.

Quelques objectifs du SCISP

Compétence

Concevoir et réaliser une expérience étudiant les effets des engrais sur la croissance des végétaux.

Attitude
Se préoccuper d'appliquer pour le bien de la collectivité les connaissances acquises sur le traitement au fluorure et la fertilisation.

Tâches

1. *Examinez un ensemble d'objectifs vous paraissant important dans votre action pédagogique. Cet ensemble est-il bien équilibré, comprenant des objectifs cognitifs, affectifs et psychomoteurs valables? Si tel n'est pas le cas, proposez des améliorations éventuelles.*
2. *En prévision d'une de vos prochaines leçons, formulez un ensemble équilibré d'objectifs (ou reprenez-les dans les exemples déjà cités). Demandez ensuite à l'un de vos collègues de venir assister à votre cours et de juger si votre enseignement est vraiment orienté vers ces objectifs.*
3. *Reportez-vous à l'exercice 2.154 du* Nouveau manuel de l'Unesco. *Formulez un ensemble équilibré d'objectifs pour une leçon qui s'inspirerait de cette activité.*

Adaptation des objectifs à la maturité de l'enfant

Le développement intellectuel et affectif de l'enfant est lié à son développement physique et à son éducation. Les expériences qui lui sont proposées doivent être adaptées à son degré de maturité. Il faut donc non seulement que les objectifs intellectuels, affectifs et manuels soient équilibrés, mais aussi qu'ils tiennent compte de son âge. Si nous nous fixons des objectifs qui dépassent le degré de maturité atteint par l'enfant, cela ne peut qu'engendrer chez lui la frustration, les larmes et l'hostilité. Il est, par exemple, beaucoup plus facile d'avoir un débat approfondi, sérieux et critique sur le problème de la limitation démographique avec un groupe d'élèves de 14 ans, qu'avec des élèves de 11 ans. Le raisonnement abstrait, par exemple, le concept de l'électron dépasse les capacités de la plupart des enfants du niveau primaire et des premières années du secondaire. Si seulement les maîtres qui enseignent aux jeunes enfants prenaient conscience de cela, ils auraient beaucoup plus confiance en eux-mêmes et en leur propre savoir scientifique. En effet, dans la mesure où la plupart des grands concepts scientifiques sont essentiellement abstraits, l'enseignant des jeunes enfants devra s'attacher à étudier avant tout les processus de la science plutôt que ses concepts.

Le programme de Science 5/13 est un programme d'enseignement long, embrassant les huit années au cours desquelles le jeune être

humain se développe de façon considérable. Les concepteurs du cours ont veillé à formuler des objectifs adaptés aux divers stades du développement de l'enfant. Nous avons retenu ici les objectifs correspondant à deux des buts cités précédemment (voir section sur les buts), ces objectifs étant classés selon les différents niveaux de maturité [19]. Parmi les programmes qui aident l'enseignant à relier les objectifs et les activités aux différents stades du développement de l'enfant, on peut citer également le SCIS et l'ASEP.

Deux objectifs de Science 5/13

Développer les concepts de base et de raisonnement logique (30)	Poser des questions et imaginer des expériences ou des recherches pour y répondre (40)
STADE 1 *Passage de l'intuition aux opérations concrètes (jeunes enfants, en principe)*	
1.31 Avoir conscience du sens des mots décrivant divers types de quantité. *1.32* Comprendre que des choses différentes peuvent avoir des caractéristiques communes.	*1.41* Aptitude à trouver des réponses aux problèmes simples par le recours à la recherche. *1.42* Aptitude à établir des comparaisons en fonction d'une propriété ou d'une variable.
Opérations concrètes. Stade préliminaire	
1.33 Aptitude à prédire les conséquences de certaines transformations à partir de l'observation de transformations analogues. *1.34* Acquisition des notions «horizontal» et «vertical». *1.35* Développement des concepts de conservation de la longueur et de conservation de la matière. *1.36* Compréhension de la notion de vitesse et de son rapport à la distance parcourue.	*1.43* Appréciation de la nécessité d'utiliser la mesure. *1.44* Compréhension du fait qu'il peut y avoir plus d'une seule variable en cause dans une transformation donnée.
STADE 2 *Opérations concrètes. Stade ultérieur*	
2.31 Compréhension de la mesure comme division en parties régulières et comme comparaison répétée par rapport à une unité. *2.32* Compréhension de la possibilité d'effectuer des comparaisons indirectement grâce à un intermédiaire. *2.33* Acquisition des concepts de conservation du poids, de la surface et du volume. *2.34* Appréciation du poids comme force orientée vers le bas. *2.35* Compréhension du rapport entre la vitesse, le temps et la distance.	*2.41* Aptitude à formuler des questions dont les réponses puissent être données par la recherche. *2.42* Aptitude à tester les variables et à découvrir celles qui sont opératoires. *2.43* Compréhension de la nécessité de contrôler les variables et de recourir à des contrôles dans les recherches. *2.44* Aptitude à choisir et à employer des unités de mesure standard ou arbitraires en fonction des besoins. *2.45* Aptitude à choisir un degré pertinent d'approximation et à s'y conformer. *2.46* Aptitude à utiliser des modèles concrets pour étudier les problèmes ou les rapports.

STADE 3 *Passage au stade de la pensée abstraite*

3.31 Connaissance des rapports impliquant la vitesse, la distance, le temps et l'accélération.

3.32 Aptitude à séparer, exclure ou combiner les variables pour aborder les problèmes.

3.33 Aptitude à formuler des hypothèses ne dépendant pas de l'observation directe.

3.34 Aptitude à étendre le raisonnement du domaine du réel au domaine du possible.

3.35 Aptitude à distinguer une preuve d'autres preuves moins solides.

3.41 Essayer de définir les étapes essentielles dans l'approche scientifique d'un problème.

3.42 Aptitude à concevoir des expériences assorties de contrôles efficaces pour vérifier les hypothèses.

3.43 Aptitude à visualiser une situation hypothétique comme moyen utile de simplification des observations réelles.

3.44 Aptitude à construire des modèles à l'échelle pour mener l'investigation, et à évaluer les conséquences d'une modification d'échelle.

Ce que cherchent les scientifiques

Bruner a dit: «L'écolier qui apprend la physique devient lui-même physicien et il lui est plus facile d'apprendre la physique en se comportant comme un physicien qu'en faisant autre chose.» C'est précisément cette différence entre «se comporter comme un physicien» et «faire autre chose» dont il sera maintenant question.

Car l'enfant *peut* être un savant, si par savant on entend celui qui découvre certains faits concernant notre univers naturel. Il ne s'agit pas tant de redécouvrir un savoir déjà possédé par d'autres (activité qui n'a pas grand-chose de scientifique) que d'apporter une contribution nouvelle à la connaissance. Si jamais l'homme parvient un jour à décrire la totalité de la nature, il aura fallu la collaboration de l'immense communauté des savants à travers le monde entier et tout au long des siècles. L'écolier et le professeur peuvent faire partie de cette communauté, et c'est d'ailleurs couramment le cas. Il suffit, pour s'en convaincre, de jeter un coup d'œil sur les comptes rendus des projets *(project notes)* publiés régulièrement dans la *School science review,* revue de l'ASE, ou sur l'étude de cas du professeur-chercheur.

Étude de cas: le professeur-chercheur

Mme Wiltshire, qui a écrit l'article sur les plantes médicinales cité plus haut, a l'esprit observateur et curieux. Regardant un jour une blatte qui mettait des petits au monde, elle fut intriguée. Les blattes étaient censées pondre des œufs, et celle-ci faisait exception à la règle! Les collègues plus compétents qu'elle en biologie, auxquels elle fit part de ses observations, avaient des explications toutes prêtes: «La blatte portait sa poche à œufs sous l'abdomen; quand les œufs ont éclos, vous avez cru que les petits sortaient de son corps.» Mme Wiltshire avait observé très attentivement et elle était sûre *d'avoir vu les petits émerger du corps de la*

mère. Elle avait gardé la mère et les petits, qui avaient survécu, et il n'y avait aucune trace de poche à œufs. Elle émit une hypothèse en présumant qu'un déménagement avait dû intervenir dans la maison où vivait la blatte et perturber ses habitudes, au point que la poche à œufs n'avait pu se former et que l'éclosion avait eu lieu à l'intérieur du corps. Ensuite, Mme Wiltshire consulta un universitaire qui lui apprit qu'on connaissait des cas de viviparité chez les blattes, mais qu'aucun n'avait encore jamais été observé chez cette espèce-là. Ce scientifique va maintenant essayer de renouveler les observations effectuées par l'enseignante et de vérifier l'exactitude de son rapport.

Parce qu'elle a su se fier à ses propres observations et parce qu'elle a eu le courage de remettre en question les théories de collègues plus compétents, Mme Wiltshire a écrit une page nouvelle du livre de la science. Elle s'efforce de développer une curiosité, une confiance et un courage analogues chez ses élèves.

Les enfants qui font des travaux pratiques au pied d'un arbre, au bord de la mer ou sur la pelouse de l'école apportent certainement une contribution nouvelle à la connaissance s'ils se livrent à des recherches sur les rapports entre les organismes et les caractéristiques physiques de l'habitat étudié. Loin de donner au professeur un sentiment d'incompétence, les investigations de première main peuvent au contraire lui donner une plus grande assurance, puisqu'il est entendu que le jeune savant et son maître chercheront ensemble les réponses. Comparez ces deux activités:

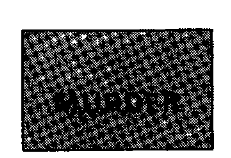
1. *Mesurez la longueur de cette page en centimètres et en millimètres.*
2. *Les droitiers sont censés avoir le côté droit plus développé que le côté gauche; inversement, les gauchers sont censés avoir le côté gauche plus développé. Vérifiez si cela est vrai pour les pouces des enfants de votre classe.*

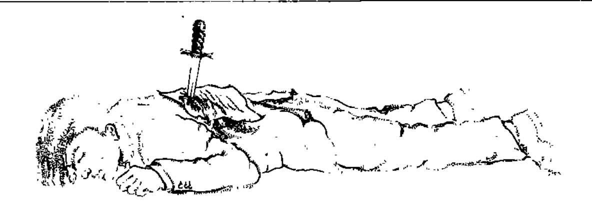
Il vaut beaucoup mieux que le professeur ne sache pas par avance le résultat d'une recherche sur les pouces, et en Jamaïque, on a élaboré tout un cours de sciences intégré sur la base d'investigations de ce genre («Monsieur, saviez-vous que...», «Mademoiselle, nous avons découvert que...») [20].

A mesure que le professeur gagne de l'assurance en donnant à ses élèves la possibilité de se comporter en chercheurs, les enfants eux aussi acquièrent une plus grande maturité et une plus grande confiance en eux, développant leur esprit critique, leur jugement et leur aptitude à décider. Enseigner et apprendre deviennent alors des expériences imprévisibles, mais joyeuses et satisfaisantes. La part et le genre de

découverte peuvent varier d'un cours de sciences à l'autre, et dans certains cours la découverte est parfois assez laborieuse («L'encre est-elle une substance pure?»; «Le cuivre se combine-t-il avec quelque chose dans l'air?»), mais la découverte figure en bonne place dans la quasi-totalité des programmes d'enseignement scientifique de ces vingt dernières années. Le mot «découverte» étant vague et pouvant avoir de multiples sens, nous allons donner quelques précisions.

La découverte dans les cours de sciences





*** Données**

Cinq meurtres avaient été commis dans un petit hôtel londonien. Chacune des victimes avait été poignardée et l'on avait retrouvé sur les cadavres un poème écrit à l'encre noire, attaché au corps par l'arme du crime.

L'écriture était contrefaite, aussi l'expert en graphologie ne put-il être d'aucun secours.

Le meurtrier avait été interrompu juste après avoir assassiné M. Flatman, pendant qu'il écrivait le poème. Il avait laissé tomber son stylo à encre.

Une fouille méthodique de l'hôtel révéla que deux clients seulement possédaient une bouteille d'encre noire: le professeur Krome A. T. O'Gram, et Mme Eva Poration.

Sherlock Holmes et le Dr Watson discutaient de cette affaire:

S.H.: Jusqu'ici, Watson, nous avons trois échantillons d'encre: échantillon 1, prélevé dans le stylo du meurtrier; échantillon 2, prélevé dans la bouteille d'encre du professeur Krome A. T. O'Gram; échantillon 3, prélevé dans la bouteille d'encre de Mme Eva Poration.

Dr W.: Il va nous falloir analyser les encres. Quel boulot, Holmes!

S.H.: Absurde, Watson. Tout ce qu'il nous faut, c'est du papier filtre et un peu d'eau ...

Faites *vous-même* l'expérience de Sherlock Holmes, et trouvez le meurtrier. Est-ce le professeur ou Mme Eva? [21]

Tâches

1. *Comment présenteriez-vous les activités suivantes pour qu'elles deviennent une chasse aux indices?*
   a *Se maintenir en équilibre à deux sur une balançoire.*
   b. *Procéder à des tests pour la recherche des protéines, des graisses et du pH dans les shampooings.*
   c. *Etudier le sol.*
   d. *Observer les oiseaux.*
   e. *Faire chauffer du sucre.*
   f. *Activité 2.217 du* Nouveau manuel de l'Unesco.
2. *Quelles sont les idées exprimées jusqu'ici dans cette section et qui ne recueillent pas votre adhésion? Justifiez votre désaccord.*

3. *Si possible, donnez un exemple de contribution au savoir scientifique due à une personne de votre entourage (peut-être vous-même, un enfant, un chercheur, un fermier...). Cette personne a-t-elle fait part de sa découverte pour qu'on puisse en garder trace? Dans le cas contraire, est-ce parce qu'elle ne se croyait pas assez compétente pour pouvoir participer au développement de la connaissance?*
4. *Weisskopf cite cette phrase d'Einstein: «Le plus incompréhensible, dans la nature, c'est le fait même qu'elle soit compréhensible.» Cette affirmation pourrait servir de thème à un psychodrame, dans lequel deux professeurs assumeront les rôles, respectivement, d'un scientifique et d'un homme d'Église (ou d'un pandit, ou d'un rabbin, etc.). Ou encore elle pourra faire l'objet d'un débat avec une classe de grands élèves.*
5. *Comment a-t-on pu en arriver à une conception déshumanisée de la science?*

Étude de cas: deux façons d'aborder l'étude des insectes

1. *M. Gianetti dit à la classe: «Nous avons vu combien la nature est meurtrière; en étudiant les cycles alimentaires, nous avons vu que la plupart des organismes sont la proie d'autres organismes. Pourtant, la terre grouille de vie et nombre d'organismes meurent purement et simplement de vieillesse. Si vous deviez vendre une assurance-vie aux différents êtres vivants, quels sont ceux qui obtiendraient les polices les moins chères?» Les enfants pourraient suggérer le poisson-globe, qui éloigne les poissons affamés en leur faisant peur; le ver de terre qui, pendant la journée, vit dans le sol où il trouve nourriture et sécurité; ou la girafe, dont la conformation est particulièrement bien adaptée au mode de vie et aux habitudes alimentaires de son espèce. Rappelant aux enfants que les plantes sont aussi des organismes vivants, le professeur s'arrête ensuite sur un groupe important: les insectes. Après avoir expliqué comment reconnaître le genre d'animal que les savants appellent insecte, il invite les élèves à examiner la structure et les habitudes de certains insectes en les priant de se demander «en quoi tel ou tel détail est-il utile à la survie de cet animal-ci?»*

Les enfants constatent que le corps de l'abeille est trapu, épais et velu, les ailes courtes et larges, les yeux énormes; avec une bonne loupe, ils voient que les parties buccales comprennent un tube creux. En plein air, ils observent le vol des abeilles et examinent les fleurs qu'elles ont butinées. Le professeur veille constamment à ce que les enfants fassent le lien entre leurs observations et le thème initial de la leçon.

On oppose ensuite la structure et les habitudes de l'abeille à celles du papillon, et le professeur attire l'attention des enfants sur

le fait que les «yeux» sur les ailes du papillon pourraient paraître effrayants à un oiseau. On passe ensuite à l'étude de la blatte: en quoi diffère-t-elle, en quoi se rapproche-t-elle des autres insectes étudiés?

Dès le début de la leçon, les enfants ont compris le but de leur travail. Lors de la récapitulation finale, le maître vérifie que les divers éléments s'assemblent bien dans l'esprit des enfants, de manière à former un tout cohérent et passionnant, qui restera gravé dans les mémoires.

2. *M. Jensen a entendu dire que la découverte est une expérience positive; il est donc prêt à consacrer un certain temps à examiner avec les enfants quelques abeilles, papillons et blattes morts. Cependant, il ne comprend pas que les enfants ont besoin de savoir où ils vont, tout comme les scientifiques, et il leur demande simplement de recueillir autant d'informations que possible sur les insectes, en les étudiant un par un. Au demeurant, lui-même ne sait pas très bien pourquoi il fait un cours sur «la structure des trois insectes désignés».*
Après la leçon:

L'élève: *Le maître nous a dit d'observer la blatte à la loupe. Nous avons vu qu'elle était brune et grosse, et qu'elle avait de longues antennes. Je ne sais pas pourquoi nous avons dû faire cela. Je suppose que la science, c'est savoir à quoi ressemble une blatte.*
Le professeur: *Je ne sais pas ce qu'ont ces enfants, ils ne savent pas observer et ils semblent incapables de se rappeler ce qu'ils ont vu à propos de l'abeille. Ils ne savent pas utiliser leurs connaissances.*

Le second professeur de l'étude de cas a besoin d'aide. Il faudrait lui rappeler que l'outil doit servir l'homme, et non l'inverse, et que le manuel scolaire peut avoir son utilité comme matériel de référence, mais qu'il n'est pas un guide du maître. Là encore, il s'agit pour le professeur de comprendre que, pas plus qu'un dictionnaire ne fait un poème, un programme ne constitue un enseignement. Peut-être devrait-il relire attentivement les buts de certains programmes pertinents, où les généralisations sont souvent énoncées très explicitement. Il lui faut réfléchir aux principaux concepts de la science (par exemple l'interaction, l'équilibre, les cycles, les systèmes), et veiller à ce qu'ils «passent» dans son enseignement de manière à être clairement perçus par les élèves. Il peut construire son enseignement à partir de n'importe quel sujet de son choix, à condition que ce sujet lui fournisse l'occasion

de développer un certain nombre de concepts et d'arriver aux généralisations essentielles de la science.

Étude de cas: les jeunes scientifiques

Sally et Hari observent une bougie en train de brûler. Ils tiennent un récipient en verre au-dessus de la flamme et constatent que le récipient noircit.

Sally: *Pourquoi est-ce devenu noir?*
Mme Stich: *Qu'est-ce que tu en penses, toi?*
Sally: *Le noir vient du feu. La fumée ne peut pas s'échapper, alors elle reste sur le verre.*
Hari: *C'est noir parce que le feu est chaud et il a brûlé le verre. Quand on brûle du bois, il devient noir aussi.*
Sally: *Non, c'est la fumée. Quand il y a du feu dans une maison avec un toit galvanisé, le toit devient noir au bout d'un certain temps.*
Mme Stich: *Eh bien! nous avons donc deux théories. Vous vous comportez l'un et l'autre en scientifiques, parce que les scientifiques énoncent des théories. Comment pourriez-vous trouver lequel de vous deux a raison?*

Hari touche le noir avec son doigt et constate que le noir se détache du verre. Les deux enfants en concluent bientôt que la théorie de Hari a été réfutée. Celle de Sally est meilleure.

Tâches

1. *Dans l'étude de cas des jeunes scientifiques, quels sont les processus scientifiques employés par Sally et Hari?*
2. *Reclassez les objectifs d'un bon programme (par exemple Science 5/13) en fonction des treize processus énumérés ci-dessus.*
3. *Quels processus pourrait mettre en jeu une activité donnée du* Nouveau manuel de l'Unesco pour l'enseignement des sciences *(par exemple l'exercice 2.77), présentée aux enfants de la manière qu'il vous plaira?*
4. *En quoi une formation accordant une large place aux processus de la science pourrait-elle être utile à un fermier, à un mécanicien, à une ménagère?*
5. *Dans votre enseignement de la semaine prochaine, fixez-vous pour tâche de faire comprendre aux enfants* en quoi *ils se comportent comme des scientifiques.*
6. *Demandez à l'un de vos collègues l'autorisation d'assister à l'un de ses cours. Analysez sa pratique de la communication en classant les questions qu'il pose comme suit:*
   (Niveau inférieur): Questions appelant une réponse de quelques

mots ou d'une seule phrase. (Par exemple: puisque l'eau de chaux est devenue laiteuse, quel était le gaz?)
(Niveau supérieur): Questions appelant une réponse en plusieurs phrases. (Par exemple: les ménagères de Matelot nous ont demandé de leur indiquer quelle lessive utiliser avec l'eau de mer. Comment allons-nous procéder pour trouver la réponse à leur problème?)

Références

1. EGGLESTON, J. J. Biology. Dans: Whitfield, R. (dir. publ.), *Disciplines of the curriculum*, p. 158. Maindenhead, McGraw-Hill, 1971.
2. Données fournies par Christian Petresch, de l'Association danoise des professeurs de sciences.
3. FIGUEROA, J. J. *Society, schools and progress in the West Indies*, p. 89. Oxford, Pergamon, 1971.
4. SOUTH PACIFIC COMMISSION. *Changing the curriculum*, p. 17. Nouméa, SPC, 1971.
5. WILTSHIRE, A. Bush teas as a topic in human and social biology. *Journal of education in science for Trinidad and Tobago*, vol. 3, nº 2, février 1976, p. 67 et 68.
6. KERR, J. F. Curriculum change in emergent countries. Dans: Howson, G. (dir. publ.). *Developing a new curriculum*, p. 63 et 64. Publié pour le British Council par Heinemann Educational Books, 1970, mais actuellement épuisé.
7. *Report of the Education Commission (1964–1966): Education and national development*, p. 4. New Delhi, Government of India, 1966.
8. EDUCATIONAL SERVICES DIVISION, CURRICULUM UNIT. *Outline of secondary school science syllabus grade 7, 8, 9, 10*, p. 1. Papouasie – Nouvelle-Guinée, Department of Education, 1977.
9. Ce diagramme est reproduit dans tous les manuels de Science 5/13, par exemple dans: ENNEVER, L.; HARLEN, W. (coordonnateurs), *With objectives in mind*, p. 59. London, Macdonald Educational, 1975. (Schools Council Science 5/13.)
10. *Integrated science 1. Teacher's guide, 1972. Experimental edition*, p. 202. Science Education Center, University of the Philippines and the Bureau of Public Schools.
11. Extrait du niveau 6 du *Science Curriculum Improvement Study* (SCIS), élaboré au Lawrence Hall of Science, University of California, Berkeley, et publié par Rand McNally.
12. Extrait de Science 5/13, But 40.
13. Voir par exemple GRONLUND, N. E., *Stating behavioural objectives for classroom instruction*. Macmillan, 1970.
14. On trouvera des détails dans: SCIENCE TEACHER EDUCATION PROJECT. *Activities and experiences. Aim 4.* London, McGraw-Hill, 1974.
15. LAYTON, D. A wider spectrum of aims. Cité dans: Jenkins, E. et Whitfield, R. (dir. publ.), *Readings in science education*, p. 33. London, McGraw-Hill, 1974. (Science Teacher Education Project.)
16. *A further report by the Science Revision Sub-Committee to the School Certificate Examination Board*, module 3. Nouvelle-Zélande, février 1975.
17. AUSTRALIAN SCIENCE EDUCATION PROJECT (ASEP). *Australians – past and present. Teacher's guide*, p. 5 et 13. Toorak, ASEP National Trial Print, 1972.
18. SCHOOLS COUNCIL INTEGRATED SCIENCE PROJECT. *Patterns. Teachers'guide 1, Building blocks*, p. 107. London, Longman, 1973.
19. SCHOOLS COUNCIL SCIENCE 5/13. *With objectives in mind*, p. 62. London, Macdonald Educational, 1975.
20. REAY, J. F.; TURNER, A. D. *New world science*. Trinidad, Longman Carribean, 1975 et 1976. (Pupils' Books 1 & 2 and Teacher's guides 1 and 2.)
21. TINBERGEN, D.; THORBURN, P. (dir. publ.) *Integrated science book 1*, p. 19. London, Arnold, 1976. (The Wreake Valley Project.)

I. 45 ED. 80/D-99/F